Library

Agriculture Canada

Direction générale de la recherche
Research Branch

Bulletin technique 1988-11F

La qualité du porc: revue technique

630.4
C212
R. B
BT 1988-11F

Canada

0 2 9 1 1 0

RECEIVED
RESEARCH STATION
LETHBRIDGE, ALBERTA

DEC 29 8 25 AM '88

CANADA AGRICULTURE

LIBRARY
BIBLIOTHÈQUE

FEB 1988
RESEARCH STATION
STATION DE RECHERCHES
LETHBRIDGE, ALTA.

CANADA AGRICULTURE

La qualité du porc: revue technique

S.D.M. JONES, A.C. MURRAY, A.P. SATHER,
L.E. JEREMIAH et G.G. GREER
Station de recherches
Lacombe, Alberta

Bulletin technique 1988-11F
Bulletin technique de Lacombe n° 2

Direction générale
de la recherche
Agriculture Canada
1988

On peut obtenir des exemplaires de ce bulletin
à l'adresse suivante
Directeur
Station de recherches
Direction générale de la recherche
Agriculture Canada
Bag Service 5000
Lacombe, Alberta
T0C 1S0

Production par le Service aux programmes de recherche

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1988
N° de cat.: A-54-8/1988-11F
ISBN: 0-662-95196-4

Also available in English under the title
Pork quality: a technical review

couverture
Les points sur la carte indiquent les établissements de recherche d'Agriculture Canada.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction..... 1

1. Identification du porc PSE/DFD..... 3
   A. Définition de la qualité du muscle du porc
   B. Normes d'évaluation subjective de la qualité de la viande de porc
   C. Mesure objective de la qualité du muscle
   D. Perspectives d'identification du porc PSE/DFD dans l'industrie

2. Qualité du porc PSE/DFD et transformation..... 9
   A. Problèmes de traitement et qualité de la viande
   B. Qualité du muscle et rendement du traitement

3. Porc PSE/DFD et durée de conservation en boucherie..... 14

4. Viande de porc PSE/DFD et palatabilité..... 17
   A. Qualité de la viande de porc et palatabilité
   B. Profils de texture
   C. Profils de flaveur

5. Génétique de la sensibilité porcine au stress..... 22
   A. Sensibilité au stress chez l'homme et chez d'autres animaux que le porc
   B. Génétique de la sensibilité au stress chez le porc
   C. Relation entre la sensibilité génétique au stress et les caractéristiques de reproduction
   D. Relation entre la sensibilité génétique au stress et les caractéristiques de performance
   E. Relation entre la sensibilité génétique au stress, le rendement de la carcasse et la qualité de la viande
   F. Distribution des populations de porcs
   G. Effets des tests à l'halotane
   H. Stratégies de sélection

6. Détection de la sensibilité au stress et tests employés 35
   A. Marqueurs génétiques
   B. Marqueurs physiologiques

7. Influences ante-mortem sur la qualité du porc..... 39
   A. Morts pendant le transport
   B. Meurtrissures de la carcasse
   C. Perte de poids de la carcasse
   D. Commercialisation

8. Influences post-mortem sur la qualité du porc..... 48
A. Porc PSE
B. Porc DFD
C. Etourdissement
D. Côté de l'accrochage
E. Échaudage
F. Vitesse de refroidissement des carcasses
G. Stimulation électrique

Sommaire..... 55

Remerciements..... 57

Bibliographie..... 58

INTRODUCTION

La production canadienne de porc a connu une croissance considérable ces 10 dernières années. En 1986, elle a été de l'ordre de 15 millions de porcs. Environ 30 % de cette production est exportée, principalement aux États-Unis et au Japon; la valeur de ces exportations dépasse 800 millions de dollars par an. Cependant, des rapports indiquent que la qualité du porc semble avoir baissé dans tous les grands pays producteurs, partout dans le monde. Le principal problème est que l'on rencontre avec une fréquence accrue une viande pâle, molle, exsudative, dite <<PSE>> (pale, soft, exsudative) et, dans une moindre mesure, une viande à coupe sombre, ferme et sèche, dite <<DFD>> (dark, firm and dry). Une réunion de planification des travaux sur la qualité du muscle du porc a eu lieu à Ottawa les 27 et 28 avril 1981, organisé par Agriculture Canada. Une de ses recommandations ne visant pas les travaux de recherche a été de faire un tour d'horizon des publications techniques relatives à la viande porcine PSE/DFD. Il existait alors extrêmement peu d'information canadienne sur cette question et un travail considérable a été accompli depuis 5 ans. À la demande du Comité Industrie/Gouvernement sur la viande porcine PSE/DFD, la Station de recherches de Lacombe a accepté en 1986 de procéder à cette revue technique.

Le chapitre premier du présent bulletin traite de l'identification de la viande PSE/DFD. Des normes nationales d'appréciation subjective de la qualité de la viande ont été établies au Canada et des explications sont données sur leur application, ainsi que sur leurs relations avec les mesures objectives de la qualité du muscle. Les nouvelles méthodes permettant de mesurer les caractéristiques PSE/DFD à différents moments post-mortem sont aussi passées en revue. Le chapitre 2 examine les problèmes que pose le traitement de la viande de porc des différents groupes de qualité. Sur la base des indications concernant les rendements, l'industrie pourra effectuer des estimations sur les aspects financiers du traitement de la viande porcine PSE/DFD. Le chapitre 3 porte sur la conservation de viande PSE/DFD vendue au détail et le chapitre 4 sur sa palatabilité. Dans le reste de ce bulletin, les connaissances actuelles sur les principaux facteurs déterminant la fréquence accrue des viandes porcines de qualité médiocre sont passées en revue. Le chapitre 5 traite de la sensibilité au stress, qui fait l'objet de recherches intensives, principalement en Europe. Peut-être le lecteur trouvera-t-il certaines explications difficiles à comprendre, mais une plus grande simplification aurait entraîné une perte de contenu. Les méthodes autres que les tests à l'halotane qui ont été employées pour identifier les porcs sensibles au stress sont passées en revue au chapitre 6 et l'identification du gène qui transmet la sensibilité au stress (à l'halotane) chez les porcs porteurs est mentionnée plus particulièrement. Le chapitre 7 traite des facteurs qui interviennent entre le moment où l'animal quitte la ferme et l'abattage, facteurs dont l'influence sur la qualité de la viande a été prouvée. Enfin, le chapitre 8 traite des facteurs post-mortem qui ont des effets sur la qualité du muscle.

Nous n'avons pas cherché à présenter dans ce bulletin une documentation complète qui tiendrait compte de tous les rapports scientifiques; nous avons plutôt insisté sur les études les plus importantes. Pour une information plus complète, il convient de consulter les sources mentionnées; dans la plupart

des cas, en effet, c'est notre interprétation que l'on trouvera ici. Nous serions les premiers à reconnaître que les faits qui entraînent des anomalies de la qualité de la viande sont loin d'être entièrement compris.

Au Canada, la fréquence des viandes PSE et DFD est variable, mais on estime qu'elle varie dans les deux cas entre 10 et 30 % selon la saison (Murray, 1986) et qu'elle coûte à l'industrie plus de 20 millions de dollars par an. En exécutant cette revue technique, notre objectif a été de mettre en lumière les problèmes que posent les anomalies de qualité du muscle et d'examiner les principaux facteurs qui entraînent une proportion importante de viande de porc PSE et DFD.

S.D.M. Jones
Chef, Production des viandes rouges et du boeuf
Agriculture Canada
Station de recherches de Lacombe

1. IDENTIFICATION DE LA VIANDE DE PORC PSE/DFD

A.C. Murray et S.D.M. Jones

A. Définition de la qualité du muscle du porc

Les caractéristiques du muscle considérées comme étant les principaux facteurs déterminants de la qualité dans la viande de porc fraîche, non cuite, sont la couleur, la texture et la capacité de rétention d'eau.

La qualité peut avoir différentes significations selon les personnes. La couleur, la texture et la capacité de rétention d'eau (l'égouttement) sont importantes pour le marché d'exportation. La capacité de rétention d'eau est importante pour l'usine de traitement parce qu'elle a une grande influence sur le rendement de la salaison. Elle est importante aussi pour le producteur de porc et pour l'usine de traitement parce qu'elle est liée aux pertes de poids des carcasses. La couleur est importante pour le détaillant, car non seulement elle joue un rôle dans le choix du consommateur, mais elle est aussi liée à la durée de conservation en boucherie pour la vente au détail. La texture est en rapport étroit avec la capacité de rétention d'eau. Pour caractériser la qualité de la viande de porc maigre, il faut donc mesurer au moins la couleur, la texture et la capacité de rétention d'eau.

B. Normes d'évaluation subjective de la qualité de la viande de porc

La méthode la plus simple pour caractériser la qualité du porc maigre est l'évaluation subjective. Le premier système de notation subjective de la qualité du porc maigre a été établi à l'Université du Wisconsin en 1963. Dans ce système de notation, les notes allaient de 1, très pâle, molle, exsudative (PSE) à 5, très foncée, ferme, sèche (DFD); la note 3 correspondait au porc normal. Les normes de qualité de la viande porcine du ministère de l'Agriculture du Canada, publiées en 1984, représentent une nette amélioration par rapport au système du Wisconsin. La publication d'Agriculture Canada, illustrée en couleurs, décrit comme suit un système de notation subjective qui porte sur deux éléments, couleur et structure:

Normes de qualité de la viande de porc d'Agriculture Canada[1]

Notation subjective de la couleur	Notation subjective de la texture
1 - Très pâle	1 - Très molle, exsudative
2 - Pâle	2 - Molle, exsudative
3 - Normale	3 - Normale
4 - Foncée	4 - Ferme, sèche
5 - Très foncée	5 - Très ferme, sèche

[1]Agriculture Canada, 1984a.

La viande de porc molle, exsudative, n'est pas toujours pâle. Inversement, le porc pâle n'est pas toujours mou et exsudatif. Ces normes admettent des variations de couleur, indépendamment du caractère mou et exsudatif; elles ont été particulièrement utiles pour identifier un type de qualité observé couramment, qui est caractérisé par une couleur pratiquement normale mais une structure molle et suintante. D'autres chercheurs (Monin et Sellier, 1985) ont identifié une qualité de ce type.

C. Mesure objective de la qualité du muscle

La qualité du muscle du porc maigre peut aussi être mesurée objectivement ou à l'aide d'instruments. Ces méthodes utilisant des appareils sont employées le plus souvent soit dans un délai d'environ une heure après l'abattage, soit environ 24 h après l'abattage afin d'estimer ou de prédire la qualité finale. En voici quelques exemples:

1. Couleur/réflectance On a mis au point deux modèles de base de photomètres à réflectance. L'un d'eux fait des mesures à la surface de la viande, l'autre à l'intérieur du muscle. Les photomètres à réflectance se sont révélés utiles pour mesurer la couleur du muscle 24 h ou plus après l'abattage. Le tableau 1.1 montre la relation entre les notes d'évaluation subjective de la qualité d'Agriculture Canada et les lectures d'un photomètre qui mesure la réflectance à la surface (Minolta Chroma Meter II) pour le longissimus dorsi.

Tableau 1.1 Relation entre l'évaluation subjective de qualité de la viande de porc et les valeurs a et b (C.I.E.) données par un photomètre à réflectance Minolta pour le longissimus dorsi

Appréciation subjective de la couleur/structure	L		a		b	
Note[1]	Moyenne	Écart type	Moyenne	Écart type	Moyenne	Écart type
1/1	59,5	2,7	11,4	1,9	8,4	1,3
2/2	56,1	2,5	11,3	1,6	7,5	1,3
3/3	48,6	3,5	9,8	1,9	4,9	1,9
4/4	38,6	2,6	7,5	1,7	1,5	1,3

[1] Couleur/structure, Notation de 1 à 4, Agriculture Canada, Normes de qualité du porc, Murray et Nemeth, 1986.

Les photomètres qui mesurent la réflectance dans la profondeur du muscle (Fat-O-Meater, Fiber Optic Probe [MRI, Bristol], Destron et Hennessy) sont assez prometteurs pour la prédiction de la qualité finale d'après des mesures faites moins d'une heure après l'abattage,

mais ces instruments ne se sont pas encore révélés assez précis pour permettre de prédire la couleur finale d'après des mesures faites peu après l'abattage (Jones et al., 1984; Somers et al., 1985). Fortin et Raymond (1987) ont conclu récemment qu'à aucun stade post-mortem les mesures électroniques ne donnaient des résultats satisfaisants pour la détection de la viande PSE/DFD. Vu l'utilité qu'ils peuvent avoir, il convient de poursuivre le développement et les essais de ces photomètres. Swatland (1986a) a cependant trouvé que la réflectance interne des muscles de la fesse, mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre portatif à fibres optiques (Colormet, Instrumar Ltd, Saint-Jean de Terre-Neuve), pourrait permettre de faire la distinction entre le porc normal et le porc PSE 24 h après la mort.

2. pH Le tableau 1.2 indique les valeurs prévues du pH pour différents types qualitatifs de noix de côte (longissimus dorsi) à deux moments différents après la mort. Le pH mesuré une heure après la mort permet de distinguer le porc PSE des autres types de qualité, tandis que le pH mesuré 24 h après permet de distinguer le DFD des autres types de qualité. Les mesures du pH n'étant pas facilement reproductibles et étant nettement influencées, une heure après la mort, par la quantité d'énergie disponible dans le muscle, cette méthode n'est pas toujours un bon moyen de prévision de la qualité du muscle. De plus, le tableau 1.2 montre un chevauchement important des pH mesurés une heure après, pour les différents groupes de qualité du muscle. Un pays (la Suisse) a cependant adopté cette méthode pour l'estimation de la qualité sur le carreau de l'abattoir et c'est un facteur qui intervient dans la fixation de la valeur des carcasses.

Tableau 1.2 Relation entre le temps écoulé après l'abattage et le pH pour des muscles longissimus dorsi de différentes qualités

Notation de la couleur/ structure[1]	Temps écoulé après l'abattage		
	1 h	24 h	
	Plage de variation	Moyenne	Écart type
1/1	5,5 - 6,4	5,41	0,13
2/2	5,5 - 6,4	5,47	0,14
3/3	5,7 - 6,8	5,58	0,12
4/4	6,4 - 7,0	6,23	0,24

[1]Couleur/structure, Notation de 1 à 4, Normes de qualité du porc d'Agriculture Canada, Murray et Nemeth, 1986.

3. Égouttement/capacité de rétention d'eau La capacité de rétention d'eau est plus faible dans le porc PSE et plus forte dans le porc DFD que dans la viande de qualité normale. Pratiquement toutes les

techniques de détermination indirecte de la capacité de rétention d'eau ont été passées en revue par Kauffman et al. (1986). Ces méthodes comportent, entre autres, la mesure: 1. de l'égouttement d'un échantillon de muscle de taille standard, 2. du volume de liquide séparé à la centrifugation, 3. du gonflement d'un échantillon de viande hachée, 4. de la quantité de liquide exprimée par pression sur du papier filtre, 5. de la quantité d'humidité absorbée par un morceau de papier filtre appliqué à la surface d'un morceau de viande. Toutes les méthodes se sont révélées utiles, mais ce sont les méthodes 1, 3 et 5 qui sont les plus précises pour distinguer tous les types de qualité. Le tableau 1.3 présente un exemple de données obtenues par deux méthodes couramment employées pour estimer la capacité de rétention d'eau. Ces procédures sont appliquées à des moments égaux ou supérieurs à 24 h après l'abattage.

Tableau 1.3 Relation entre la qualité du porc et les mesures de la capacité de rétention d'eau pour le longissimus dorsi

Notation de couleur/ structure [1]	Jus exprimable (g/100g) (par centrifugation)		Égouttement (g/100g)	
	Moyenne	Écart type	Moyenne	Écart type
1/1	35,2	3,0	4,6	1,3
2/2	33,1	2,9	4,6	1,2
3/3	27,2	5,1	1,9	1,0
4/4	9,9	6,4	0,7	0,4

[1]Couleur/structure, Notation de 1 à 4, Normes de qualité du porc d'Agriculture Canada, Murray et Nemeth, 1986 Murray et al., 1987.

4. Solubilité des protéines La dénaturation des protéines du muscle est au coeur du problème de qualité du porc PSE. Deux méthodes employées couramment (tableau 1.4) afin d'évaluer indirectement la valeur de la viande pour le traitement sont basées sur le pourcentage de transmission et la solubilité des protéines (Barton-Gade, 1981). La méthode du pourcentage de transmission mesure la turbidité des protéines sarcoplasmiques du muscle au pH normal (tableau 1.4). La méthode basée sur la solubilité des protéines mesure la solubilité des protéines du muscle dans une solution saline normale. Toutes deux sont des indicateurs très acceptables de la qualité du muscle du porc et sont employées à des moments égaux ou supérieurs à 24 h après l'abattage.

Tableau 1.4 Relation entre la qualité du porc et les mesures de pourcentage de transmission et de solubilité des protéines pour le longissimus dorsi

Notation de couleur/ structure[a]	Transmission (%)		Solubilité des protéines (g/100g de poids humide)	
	Moyenne	Écart type	Moyenne	Écart type
1/1	97,8	3,1	11,0	1,0
2/2	92,9	9,8	12,9	2,3
3/3	52,0	26,2	18,8	1,8
4/4	9,9	7,2	20,6	0,7

[a] Couleur/structure, Notation de 1 à 4, Normes de qualité du porc d'Agriculture Canada, Murray et Nemeth, 1986.

5. Propriétés électriques du muscle La capacité électrique ou aptitude d'un muscle à stocker l'électricité diminue après l'abattage, et le taux de diminution est plus rapide dans le muscle qui deviendra PSE que dans la viande normale. Ce phénomène a été utilisé pour prédire la qualité du porc (Swatland, 1982). On a prouvé que la capacité électrique de l'adducteur est un meilleur élément que le pH pour la prédiction de la qualité finale, lorsque cet élément est employé 1,5 h après la mort; toutefois, il reste à prouver que sa mesure est suffisamment précise à des fins de prévision. En Europe, on a mis au point d'autres outils de mesure des changements dans les propriétés diélectriques du muscle (MS Tester (Testron), QM Meter) mais, au Canada, on n'a pas encore évaluer leur utilisation.

6. Hydrolyse de l'ATP Cette méthode est basée sur la modification des propriétés de l'ATP (adénosine triphosphate) lorsque la dégradation de cette molécule libère de l'énergie dans les muscles après l'abattage (Honikel et Fischer, 1977). Cette méthode est conçue pour être utilisée en combinaison avec la mesure du pH, une heure après l'abattage, mais elle est très peu commode du point de vue technique, car il faut prélever, homogénéiser et filtrer un échantillon de viande, puis mesurer l'absorbance sur un spectrophotomètre. Il est donc peu probable qu'elle trouve une application dans l'industrie.

7. Apparition de la rigidité cadavérique La rigidité cadavérique apparaît lorsque la concentration d'ATP dans les muscles atteint un niveau assez bas, après l'abattage. Les muscles qui deviendront PSE sont beaucoup plus actifs immédiatement après

l'abattage, et la rigidité y apparaît donc plus tôt que dans les muscles normaux. Ainsi, chez des porcs sensibles au stress, la rigidité peut apparaître sur le carreau de l'abattoir, tandis que chez des porcs normaux elle apparaît habituellement entre 4 et 6 h après la mort. La rigidité/ flexibilité et l'orientation des membres antérieurs (Davis et al., 1978) ont été employées comme indices de <<rigor mortis>>. On a essayé d'utiliser ce phénomène afin de prévoir la qualité finale du porc mais sans y réussir entièrement, surtout faute d'une méthode pratique à appliquer à même la carcasse, méthode qui permettrait de réaliser une surveillance significative du processus de rigidité cadavérique. On pourrait surmonter cette limitation en étendant l'application de méthodes telles que celle qui a été décrite par Swatland (1987). Cependant, on n'a pas encore démontré que la rapidité d'apparition de la rigidité soit intimement liée à la qualité finale du porc.

8. Résonance magnétique nucléaire (NMR) Cette technique permet de mesurer plus directement les propriétés hydrophiles d'un tissu musculaire. On a observé que les paramètres NMR peuvent être corrélés à différentes mesures de qualité de la viande (Renou et al., 1985). Cette application de mesures NMR pour prévoir la qualité du porc est très nouvelle et un complément d'évaluation est nécessaire.

D. Perspectives d'identification du porc PSE/DFD dans l'industrie.

Les instruments capables d'enregistrer la réflectance / dispersion de la lumière (sonde à fibres optiques - Bristol, Colormet - Terre-Neuve) semblent avoir un bon potentiel pour la mesure de la qualité de la viande de porc dans des carcasses intactes 24 h après la mort. Ces instruments pourraient être employés par l'industrie dans les refroidisseurs, pour répartir les carcasses en différents groupes qualitatifs. La prévision industrielle de la qualité du muscle du porc par des mesures effectuées sur la carcasse chaude peu après l'abattage n'est pas possible avec les méthodes actuelles. Certains des problèmes techniques ont été examinés par Swatland (1986b). Il est recommandé de poursuivre le développement de la technologie existante (spectrophotométrie à fibres optiques, propriétés électriques du muscle), à titre de recherches hautement prioritaires. Cependant, une précision d'au moins 95 % serait nécessaire pour une détection précoce de la viande PSE, qui permettrait d'employer cette mesure dans le classement ou la notation des carcasses.

2. QUALITÉ DU PORC PSE/DFD ET TRANSFORMATION

L.E. Jeremiah

De nombreux facteurs influencent la conversion du muscle en viande et, par là même, les propriétés fonctionnelles des protéines du muscle. Scheper (1971) a constaté dans les coupes de porc PSE une absorption limitée d'humidité, de faibles propriétés hydrophiles et une perte de poids excessive (rétrécissement), alors que les coupes DFD présentaient une absorption élevée d'humidité, des propriétés hydrophiles normales et une perte de poids (rétrécissement) normale. Briskey (1964) a donné une description détaillée de ces propriétés et des facteurs contribuant à leur formation.

A. Problèmes de traitement et qualité de la viande

On a démontré que beaucoup de problèmes de traitement sont liés à des anomalies (PSE ou DFD) de la qualité de la viande, notamment: séparation de graisse (décomposition d'émulsions stables de protéines musculaires et de gras), séparation d'eau dans des produits de transformation de la viande, intensité et stabilité variables de la couleur des salaisons et problèmes de texture, par exemple spongiosité des produits finement broyés. Il est largement reconnu qu'une viande au pH peu élevé donne une qualité inférieure pour des saucisses finement broyées et que l'emploi de viande au pH très élevé produit des émulsions à saucisses d'une faible viscosité.

Les propriétés hydrophiles du muscle, qui sont fonction de la solubilité des protéines et du pH, sont influencées aussi par la croissance microbiologique, la concentration en sel et la température. La réduction des propriétés hydrophiles entraîne une séparation excessive de jus dans les jambons en boîte et les produits similaires. C'est pourquoi le muscle DFD est généralement considéré comme étant supérieur au muscle normal pour l'utilisation dans les produits à saucisses, en raison de ses propriétés hydrophiles et émulsifiantes supérieures, tandis que le muscle PSE n'est généralement pas considéré comme un élément désirable dans les produits de viande finement broyés, vu ses propriétés hydrophiles et émulsifiantes inférieures.

En général, le muscle PSE donne des produits de viande transformés plus pâles que la normale et le muscle DFD, des produits plus foncés que la normale. Un effet à deux tons est parfois observé dans certaines coupes (jambons) c'est-à-dire que certains muscles, ou certaines parties de muscle, restent normaux ou deviennent PSE tandis que certains autres muscles ou certaines parties de muscle restent normaux ou deviennent DFD. On a constaté que les couleurs atypiques sont, du point de vue esthétique, moins attrayantes pour le consommateur, surtout lorsqu'elles coexistent dans une même coupe (Kramlich et al., 1975).

B. Qualité du muscle et rendement du traitement

D'après les rapports, le rétrécissement au fumoir des premiers morceaux PSE dépasse seulement de 3 à 5 % celui des premiers morceaux normaux. Kauffman et al. (1978) ont néanmoins constaté que les jambons PSE perdent

beaucoup plus de poids au cours du transit et du traitement que des jambons normaux ou DFD; ils ont estimé que ce rétrécissement excessif pourrait représenter jusqu'à 1 000 000 kg par an aux États-Unis. D'autres chercheurs encore ont constaté que le muscle PSE donne de plus bas rendements (Cassens et al., 1975) et le muscle DFD des rendements plus élevés (Kauffman et al., 1964, 1978) après salaison et fumage. Cassens et al. (1975) ont signalé que le muscle PSE présentait constamment, lorsqu'il était transformé en jambons en boîte, un résidu de cuisson gélatineux de 2 à 8 % supérieur, tandis que Leest et al. (1971) ont observé un semblable résidu de cuisson gélatineux provenant du muscle PSE transformé en viandes de lunch. On a trouvé aussi que ce résidu de cuisson gélatineux augmentait fortement lorsque les températures dépassaient 77 °C.

Sur la base de ces résultats, on peut conclure:

1. Que, pour l'industrie, le principal intérêt d'une viande DFD ou à pH élevé est le rétrécissement moins important lors du traitement, ce qui entraîne des rendements plus élevés.

2. Que les jambons PSE représentent des risques de pertes économiques considérables pour l'industrie de transformation, du fait du rétrécissement excessif et de la moins bonne qualité des produits.

3. Que le muscle PSE convient moins bien que le muscle normal pour certains produits.

Des travaux menés récemment à la Station de recherches de Lacombe, en coopération avec du personnel de l'industrie, ont porté sur l'évaluation des différences de rétrécissement et de rendement entre différents groupes de qualité de muscle du porc (Agriculture Canada, 1984a), lors de la transformation à l'état frais, ou après entreposage en congélateur et décongélation, dans des conditions commerciales (Jeremiah et Wilson, 1986). Il ressort de ces recherches que l'emploi de coupes congelées puis décongelées, et non de coupes fraîches, réduit substantiellement les rendements totaux de la transformation (1,7 à 5,2 % pour les jambons, 4,4 à 14,3 % pour l'échine, 1,3 à 2,0 % pour le paleron et 2,2 à 2,7 % pour le flanc, selon la qualité intrinsèque du muscle); d'autre part, les différences de qualité intrinsèque du muscle influencent dans une mesure considérable les rendements totaux du traitement de différentes coupes fraîches (jusqu'à 7,7 % pour le jambon, 10,7 % pour l'échine, 4,8 % pour le paleron et 0,5 % pour le flanc) ou congelées et décongelées (jusqu'à 13,5 % pour le jambon, 20,5 % pour l'échine, 4,6 % pour le paleron et 0,9 % pour le flanc) (figure 2.1). Il est intéressant aussi de noter que la congélation suivie de décongélation a donné de meilleurs rendements lors du traitement pour les jambons normaux et DFD. Il est donc clair que d'une part la qualité intrinsèque du muscle dans les coupes de porc, et d'autre part la décision de traiter des coupes congelées puis décongelées, peuvent exercer une grande influence sur la rentabilité des opérations de traitement de la viande de porc.

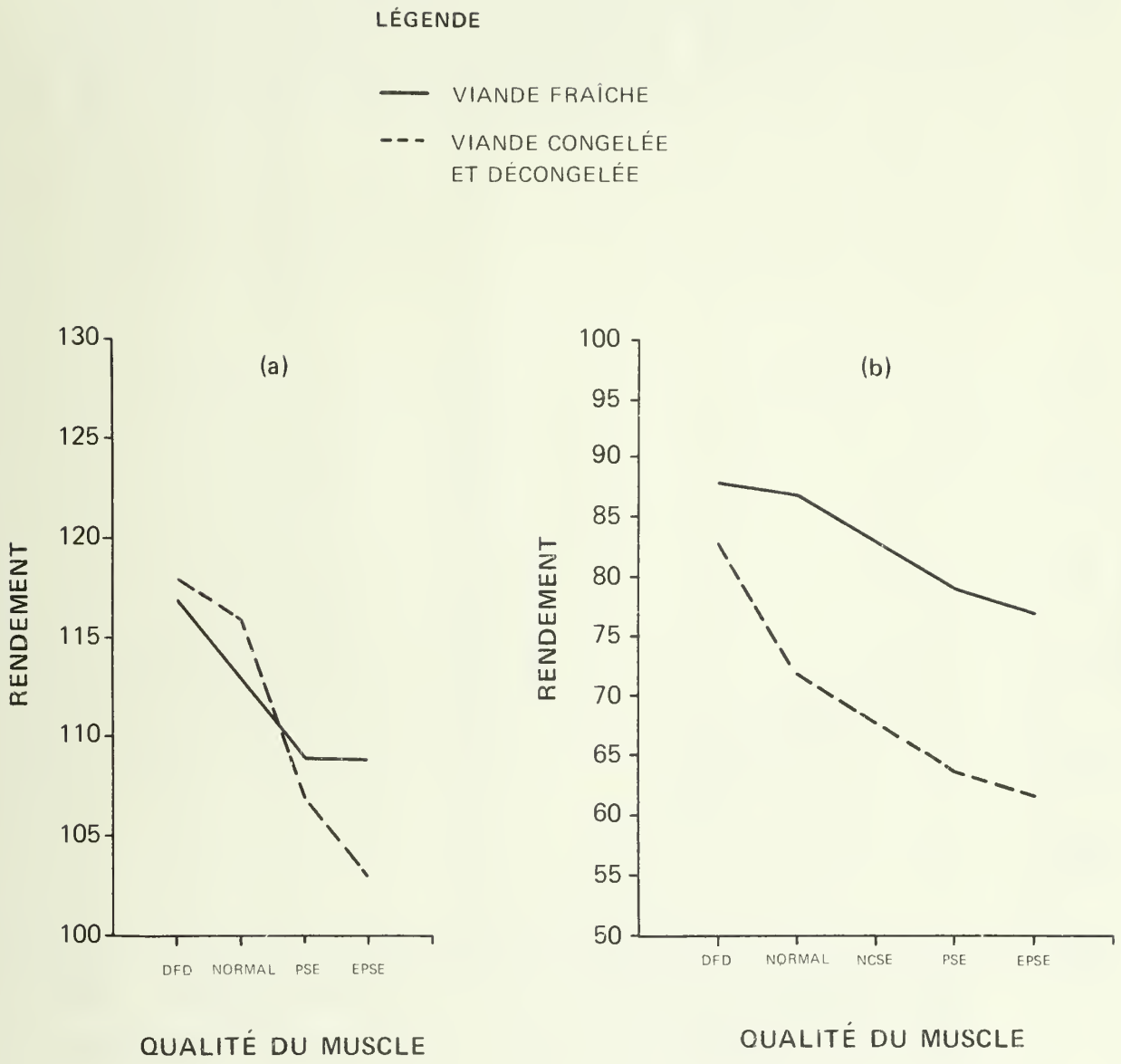
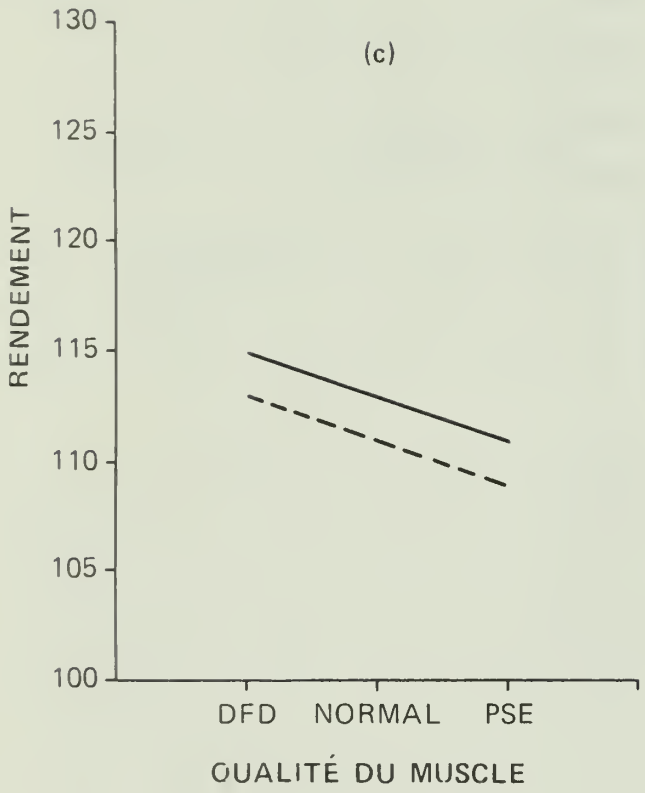
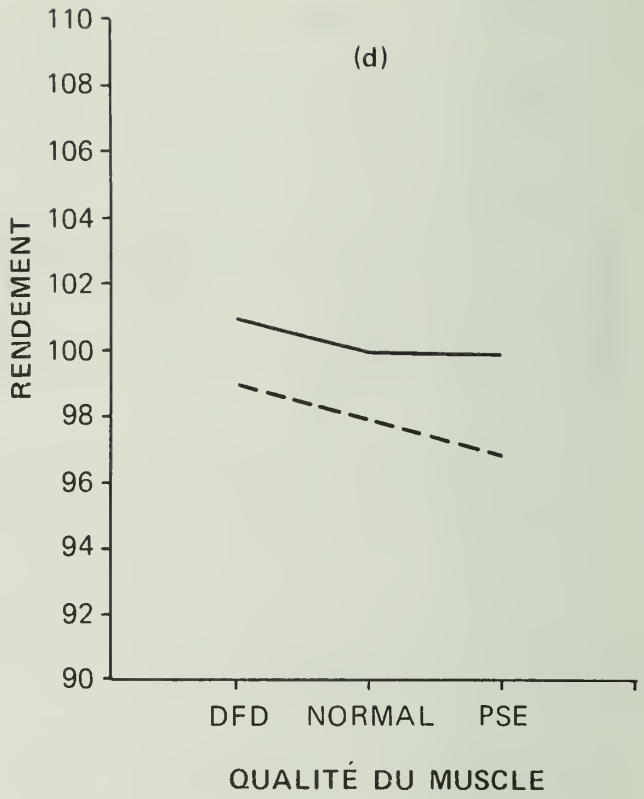


Fig. 2.1 Relation entre les rendements totaux de la transformation résultant des opérations de salaison et de fumage, et la qualité intrinsèque du muscle dans (a) les jambons, (b) les échines, (c) le paleron (picnics), (d) les flancs

DFD = viande foncée, ferme et sèche
N = viande normale
NCSE = viande de couleur normale, molle, exsudative
PSE = viande pâle, molle, exsudative
EPSE = viande trés pâle, molle, exsudative


(c)
RENDEMENT
130
125
120
115
110
105
100
DFD
NORMAL
PSE
QUALITÉ DU MUSCLE


(d)
RENDEMENT
110
108
106
104
102
100
98
96
94
92
90
DFD
NORMAL
PSE
QUALITÉ DU MUSCLE

Les résultats des recherches qui ont été compilés jusqu'à ce jour montrent que les anomalies de qualité des viandes sont liées à des facteurs qui donnent des produits de traitement de qualité inférieure et qu'elles peuvent avoir aussi des effets négatifs sur la rentabilité des opérations de traitement de la viande, du fait de la réduction du rendement.

3. PORC PSE/DFD ET DURÉE DE CONSERVATION EN BOUCHERIE

G.G. Greer

On conçoit bien que les différences biochimiques, physiques et structurales liées aux différentes qualités de musculature puissent exercer un effet prononcé sur la flore bactérienne, en quantité et en qualité. En raison des effets qu'elles peuvent avoir sur la conservation à l'entreposage, l'exportation sur des marchés éloignés et la durée de conservation en boucherie, il importe de prendre en considération les différences dans les taux de détérioration qui sont attribuables à des variations de la qualité du muscle.

La plupart des chercheurs sont d'accord pour estimer que le muscle foncé est plus sujet à l'altération que le muscle normal; toutefois, les données que l'on possède sont limitées et contradictoires (Newton et Gill, 1980). À ce propos, certains chercheurs ont soutenu que les différences qualitatives et quantitatives dans les populations bactériennes qui se développent dans le muscle DFD, PSE et normal sont attribuables uniquement au pH. Le pH plus élevé et inhérent au muscle DFD était considéré comme plus favorable à la prolifération bactérienne. Cette hypothèse a été contestée par d'autres chercheurs, selon lesquels le taux de développement des bactéries altérant la viande n'est pas affecté par le pH entre 5,5 et 7,0. Ces derniers chercheurs soutiennent que le muscle plus foncé a de très faibles réserves de sucre et que les bactéries contaminantes doivent donc utiliser des acides aminés comme substrat de croissance, ce qui engendre des substances volatiles malodorantes. Ces odeurs atypiques désagréables ne devraient donc pas se produire dans la viande PSE ou la viande d'une qualité musculaire normale avant que l'abondante réserve de glucose ne soit épuisée.

Étant donné que la physiologie de la croissance bactérienne et l'altération qui se produit dans des muscles de différentes qualités sont loin d'être résolues, des études ont été menées à la Station de Lacombe pour obtenir des données plus complètes. Les objectifs de ces recherches étaient d'évaluer les différences de croissance de la flore d'altération aérobie sur du porc de différentes qualités musculaires, selon la classification établie par les normes canadiennes de qualité du porc.

La figure 3.1 présente les résultats d'une étude préliminaire. Celle-ci compare la croissance de bactéries d'altération tolérantes au froid sur des côtelettes de longe des groupes de qualité 1 à 5, pendant 4 jours de simulation d'exposition au comptoir en vue de la vente au détail. Ces résultats, qui explicitent les observations des chercheurs antérieurs (Rey et al., 1976), montrent qu'en passant du groupe de qualité 1 au groupe 5, on note un accroissement correspondant des niveaux de contamination bactérienne. Cela veut dire que, pendant l'exposition, le muscle des groupes de qualité foncée a vu se développer des populations bactériennes nettement plus grandes. Cet accroissement peut être attribué à une prolongation du délai qui s'écoule avant le début de la prolifération bactérienne.

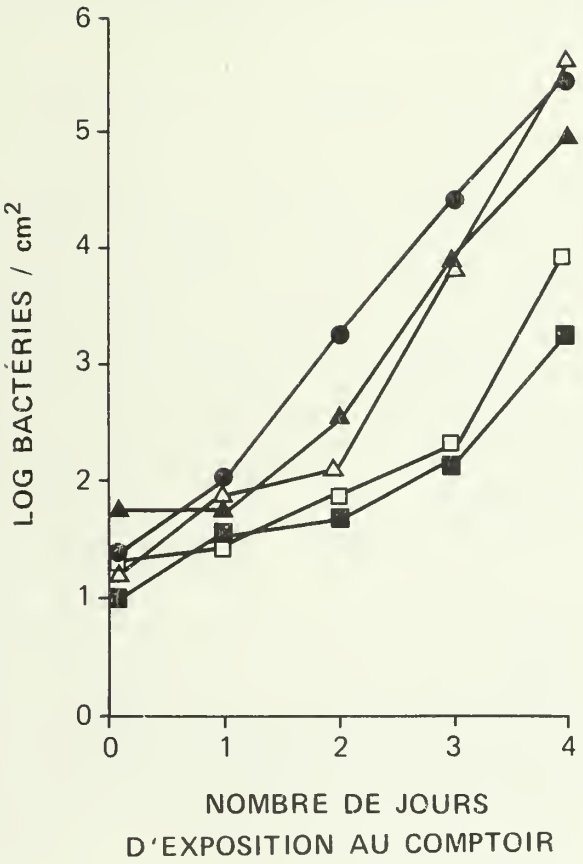


Fig. 3.1 Pour différentes qualités du muscle, les courbes indiquent la croissance bactérienne sur des côtelettes de porc exposées pour la vente au détail. Les données représentent la moyenne de 6 déterminations pour chaque groupe de qualité. La comparaison porte sur les groupes 1(■), 2(□), 3(▲), 4(△) et 5(●) des Normes canadiennes de qualité du porc.

Vu les implications pour la qualité de la viande entreposée, de nouvelles études ont été entreprises pour recueillir des données plus poussées sur la prolifération bactérienne, l'apparition d'odeurs et les mesures subjectives et objectives de la détérioration dans le muscle de couleur acceptable. C'est seulement lorsque l'on disposera de ces données que des conclusions pertinentes pourront être formulées en ce qui concerne les effets de la qualité du muscle sur le potentiel d'altération de la viande de porc.

4. VIANDE DE PORC PSE/DFD ET PALATABILITÉ

L.E. Jeremiah

En général, les résultats de recherches présentés dans les publications techniques sont peu concluants et contradictoires en ce qui concerne l'influence de la qualité intrinsèque du muscle sur la palatabilité. Cassens et al. (1975) ont conclu qu'il est difficile de tirer des conclusions générales concernant des différences de palatabilité relative entre différents niveaux de qualité du muscle, tandis que Krol (1971) a conclu que des recherches supplémentaires étaient nécessaires pour déterminer les relations entre la qualité du muscle, les attributs organoleptiques et l'acceptation par le consommateur.

A. Qualité de la viande de porc et palatabilité

Des recherches effectuées récemment à Lacombe (figure 4.1) ont montré qu'une série de produits du porc (steaks de jambon, côtelettes de longe, tranches de bacon, rôtis d'épaule et galettes de saucisses) préparés avec du porc PSE, normal et DFD se situaient tous dans la plage acceptable de palatabilité (Jeremiah, 1986). Cependant, on a observé des différences importantes dans certains produits. Par exemple, les jambons PSE étaient moins juteux et avaient une flaveur moins appétissante que les jambons normaux et DFD, tandis que les côtelettes de longe PSE avaient une flaveur et une palatabilité générale moins acceptables que les côtelettes normales. De plus, on a observé des différences significatives dans les pertes à la cuisson pour les côtelettes de longe et le bacon, entre le porc PSE et le porc normal. Ces conclusions concordent avec celles d'autres études publiées (Kauffman et al., 1964; Merkel, 1971; Cassens et al., 1975).

Bien que l'on trouve des rapports contradictoires dans les publications et que certains auteurs n'aient pas trouvé de différences dans les pertes à la cuisson qui soient attribuables à la qualité du muscle (Topel et al., 1976; Jeremiah, 1984), les études effectuées jusqu'ici donnent à penser que la qualité du porc a un effet relativement important sur les pertes à la cuisson, mais qu'elle n'a qu'une influence relativement mineure sur la palatabilité.

B. Profils de texture

Ces dernières années, l'évaluation sensorielle des produits alimentaires a été raffinée. En recourant à des groupes d'experts spécialisés et entraînés, on a mis au point à Lacombe des profils qui font intervenir de nombreuses variables pour décrire de façon complète les composantes de la texture et de la flaveur de la viande. Il ressort de l'évaluation de profils de texture de longes de porc de différents niveaux de qualité intrinsèque du muscle, que le porc dont la qualité de muscle est normale et non anormale a une texture plus ferme, plus élastique et cohérente, plus fibreuse et plus difficile à comprimer, d'où un taux plus lent de décomposition en particules ayant tendance à être fibreuses, granuleuses ou farineuses. Ces observations aident à expliquer que les longes PSE étaient plus tendres que leurs contreparties normales (Fox et al., 1980; Kemp et al., 1976) mais elles ne confirment pas certains autres rapports selon lesquels:

1. Il n'y avait pas de différence de tendreté entre longes de différents groupes de qualité (Merkel, 1971; Searcy et al., 1969; Jeremiah, 1984).

2. Les longes PSE étaient les plus tendres et les longes DFD les moins tendres (Judge et al., 1960; Deethardt et Tuma, 1971).

3. Les longes PSE étaient moins tendres que leurs homologues normales lors de l'évaluation par un groupe d'experts-goûteurs (Buchter et Zeuthen, 1971) et par des consommateurs (Topel et al., 1976).

4. Les longes PSE étaient les moins tendres et les DFD les plus tendres (Huffman et Adams, 1972).

Il semble que l'état DFD entraîne une texture plus sèche, avec moins de dégagement d'humidité et de graisse lors de la mastication et de l'absorption d'une plus grande quantité d'humidité de la bouche. Ces observations aident à expliquer des rapports antérieurs selon lesquels:

1. Les longes PSE étaient les moins juteuses (Bennett et al., 1973).

2. Les longes PSE étaient moins juteuses que les longes normales (Buchter et Zeuthen, 1971; Merkel, 1971; Fox et al., 1980; Kemp et al., 1976).

3. Les longes PSE étaient moins juteuses que les longes DFD (Kauffman et al., 1964; Jeremiah, 1984).

Le muscle DFD a une texture plus juteuse que la normale, avec plus de gras et d'humidité qui se dégagent dans la bouche et une texture plus molle, moins serrée, fibreuse et filandreuse; il est plus facile à mâcher. Ces observations peuvent expliquer pourquoi certaines enquêtes auprès des consommateurs indiquent leur préférence pour le porc DFD, et leur réticence à l'endroit du porc PSE.

C. Profils de flaveur

L'évaluation des profils de flaveur établis récemment à Lacombe a révélé que les dégustateurs trouvaient que la viande cuite PSE avait un goût aigre très prononcé ce qui l'écartait de la gamme de flaveur des échantillons possédant des propriétés PSE. Ce fait explique pourquoi les échantillons possédant à un haut degré les caractéristiques PSE reçoivent des notes de flaveur peu élevées. Ce goût aigre très prononcé pourrait être associé à la glycolyse rapide post-mortem et à la formation plus intense d'acide lactique. Une évaluation plus poussée a révélé que les échantillons DFD étaient associés à la prédominance de traits de caractère gras, à une bonne odeur de porc et à un goût sucré ce qui peut expliquer pourquoi ils ont reçu les plus hautes notations d'amplitude de flaveur et contribuer à expliquer pourquoi, dans une précédente étude (Jeremiah, 1985), les consommateurs ont montré une préférence pour les côtelettes DFD et ont laissé de côté les côtelettes PSE. Cependant, lorsque les caractéristiques DFD étaient trop prononcées, les dégustateurs ont signalé un plus grand nombre de flaveurs atypiques.

L'évaluation des recherches menées jusqu'à présent qui ont mis en relation les différences intrinsèques de qualité du muscle et les caractéristiques de cuisson et de palatabilité du porc indique que:

1. En général, toutes les coupes de porc sont bien dans la plage acceptable de palatabilité, mais qu'il y a des différences significatives entre les pertes à la cuisson de tranches de bacon et de côtelettes de longe de différents groupes de qualité du muscle.

2. Le goût aigre est la caractéristique qui ressort le plus parmi celles de la viande PSE ce qui réduit l'amplitude de flaveur, la désirabilité de la flaveur et la palatabilité générale des coupes de porc.

3. La texture sèche de la viande PSE réduit l'amplitude de texture et explique les appréciations plus basses de la succulence et de la palatabilité générale.

4. Les caractéristiques dominantes de la viande DFD sont le taux de gras, le goût sucré et la bonne odeur de porc ce qui accroît l'amplitude de flaveur, la désirabilité de la flaveur et la palatabilité générale des coupes de porc.

5. La viande DFD a une texture plus juteuse et plus molle, moins serrée, fibreuse et filandreuse et plus facile à mâcher, ce qui accroît les notations générales de succulence, de tendreté et de palatabilité.

6. Lorsque les caractéristiques de la viande DFD deviennent très prononcées, la texture devient excessivement molle, friable et spongieuse, ce qui réduit l'amplitude de texture, tout en augmentant les notations de tendreté et en rendant la palatabilité générale moins désirable.

7. Lorsque les caractéristiques de la viande DFD deviennent très prononcées, on observe aussi une prédomminance des traits de caractère qui sont responsables des flaveurs atypiques, réduisant ainsi l'amplitude de flaveur, ainsi que la désirabilité de la flaveur et la palatabilité générale du porc.

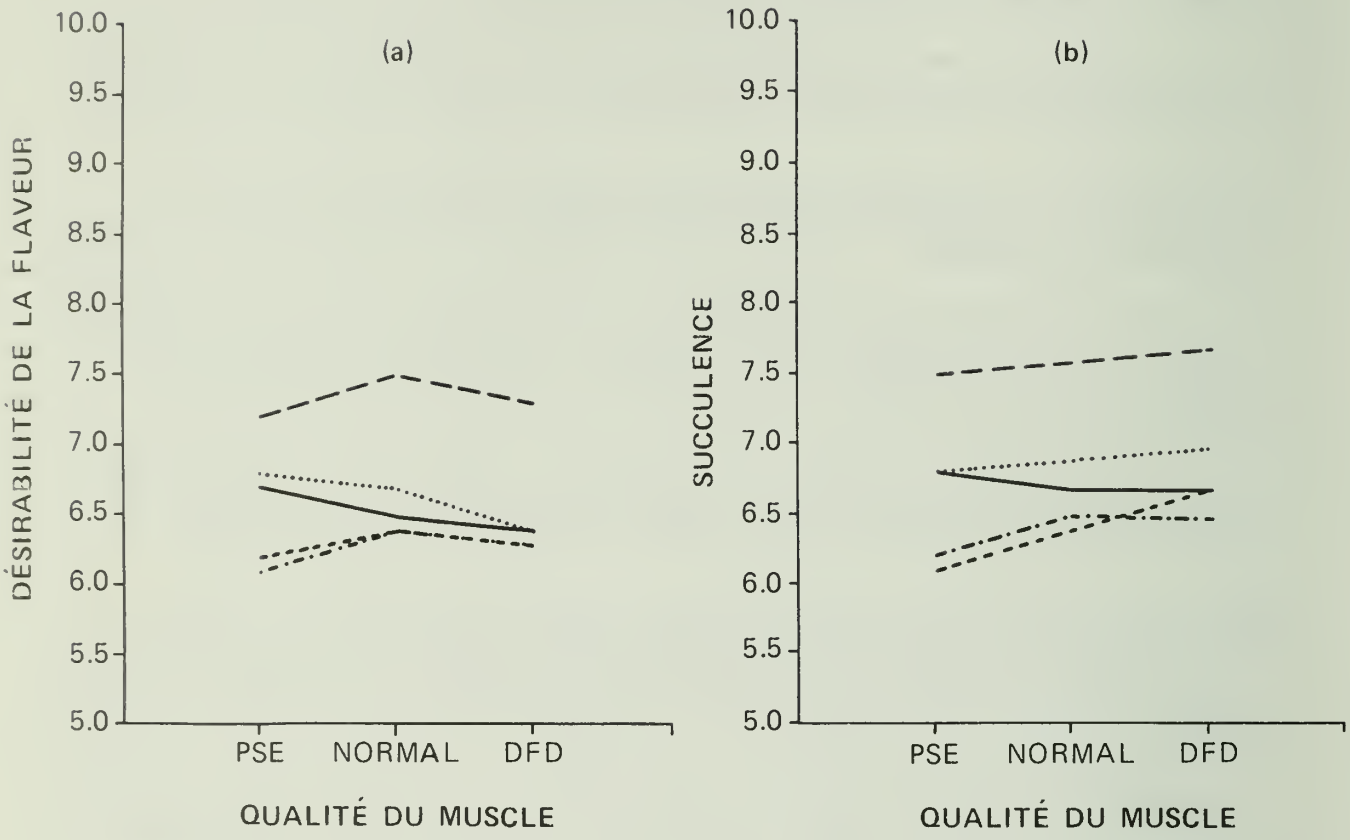
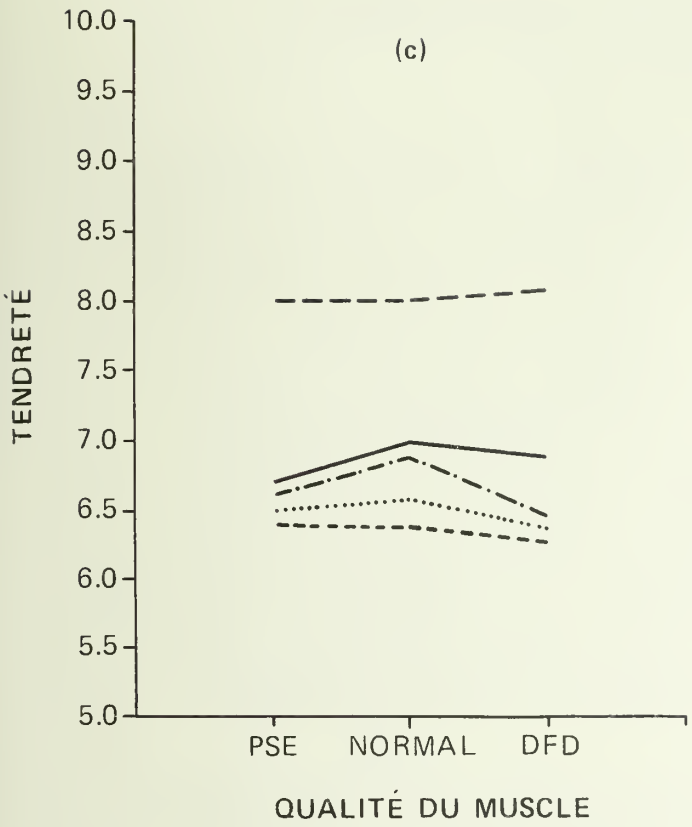
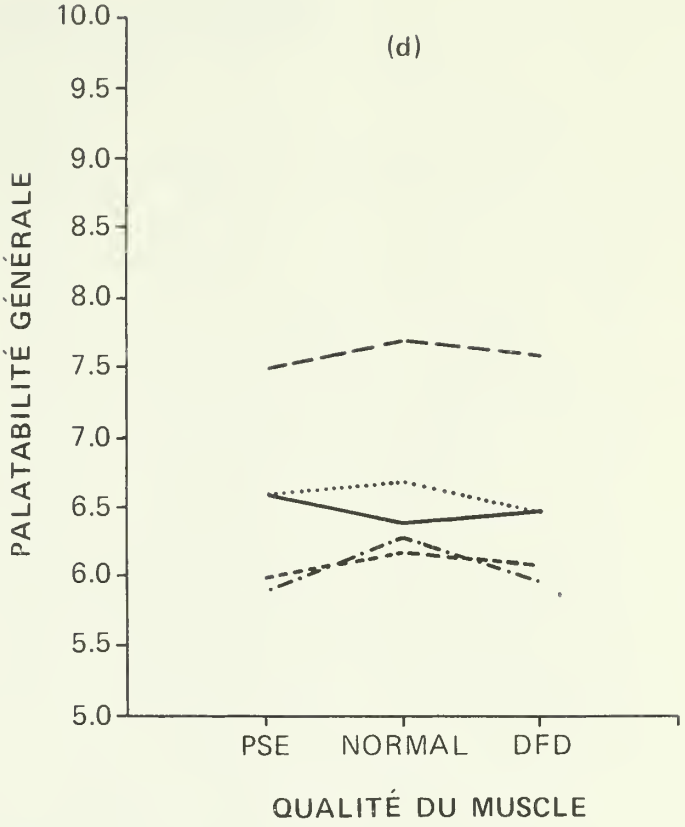
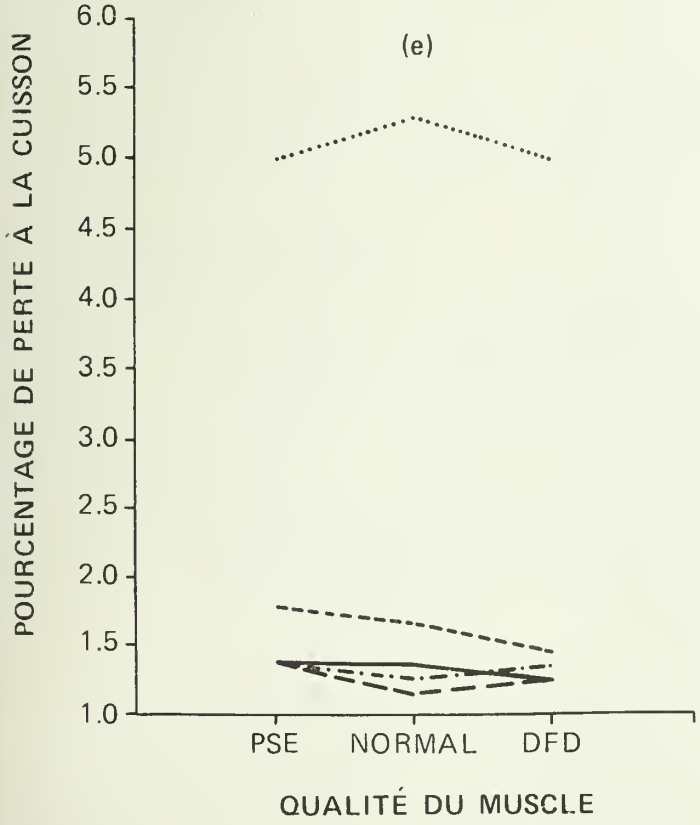


Fig. 4.1 Relation de la qualité intrinsèque du muscle avec la palatabilité et les propriétés à la cuisson:
a) désirabilité de la flaveur, b) succulence,
c) tendreté, d) palatabilité générale, e) pourcentage de perte à la cuisson.

PSE = pâle, molle, exsudative
N = normale
DFD = foncée, ferme, sèche.







Légende:

——— rôtis d'épaule

– – – galettes de saucisse

····· tranches de bacon

-·-·- steaks de jambon

----- côtelettes de longe

5. GÉNÉTIQUE DE LA SENSIBILITÉ PORCINE AU STRESS

A.Sather et S.D.M. Jones

On sait depuis des années qu'il y a des porcs, peu nombreux, qui meurent soudainement, le plus souvent au cours du transport mais aussi à la ferme, après avoir vécu des expériences normales mais néanmoins stressantes (combats, efforts, température élevée par exemple). Les causes de ces morts soudaines sont appelées collectivement <<syndrome du stress porcin>> (SSP). Il y a une vingtaine d'années, on constatait que certains porcs faisaient une montée de température incontrôlée lorsqu'ils étaient exposés à l'halotane, un anesthésique, ou à un relaxant musculaire tel que la succinylcholine. Cette réaction est généralement connue sous le nom d'hyperthermie maligne (HM). Outre cet écart de température corporelle, on a observé d'autres signes cliniques : rigidité musculaire des membres postérieurs, accélération du rythme respiratoire, accélération cardiaque et cyanose ou marbrure de la peau. Des travaux plus récents ont montré que l'HM est liée à des facteurs héréditaires et peut se transmettre de génération en génération. Les porcs qui ont cette réaction sont généralement dits <<sensibles au stress>>. Dans le présent bulletin, sensibilité au stress et réactivité à l'halotane sont considérées comme des synonymes. Il peut exister d'autres formes de sensibilité au stress, non liées au gène qui détermine la sensibilité à l'halotane (<<gène halotane>>).

Il existe une étroite relation entre réaction HM et SSP. Les autopsies conduites sur une forte proportion des porcs diagnostiqués comme <<SSP>> ont révélé des changements biochimiques de leurs tissus musculaires semblables à ceux qui sont observés chez les porcs qui présentent une HM. Il semble clair qu'une assez forte proportion des morts causées par le SSP peut être attribuée directement à une HM. Il faut toutefois reconnaître que si les porcs sensibles au stress ou <<halotane positifs>> (caractérisés par la réaction HM) sont les animaux les plus susceptibles de succomber au SSP, des porcs normaux (sans réaction HM) peuvent également présenter un SSP lié au nombre et à la durée des expériences stressantes qu'ils ont vécues.

Il existe une relation étroite chez le porc entre la réaction HM et une qualité de muscle anormale ou une viande PSE (pâle, molle, exsudative). La lignée de porcs sensibles au stress qui a été produite à Lacombe est HM à 100 %, tandis que la viande de ces porcs est classée à 85 % comme <<PSE>>. Par ailleurs, dans les conditions de la station de recherches, la race Lacombe présente 0 % de HM et, avec un minimum de stress avant l'abattage, elle a une viande PSE dans moins de 10 % des cas. Ainsi, la fréquence avec laquelle on trouve du porc PSE dans les abattoirs dépend à la fois de facteurs génétiques et de facteurs environnementaux, ainsi que de l'interaction de ces facteurs. Le chapitre qui suit examine les aspects génétiques de la sensibilité au stress, tandis que les chapitres 7 et 8 traiteront des facteurs environnementaux.

A. Sensibilité au stress chez l'homme et chez d'autres animaux que le porc

Denborough et Lovell (1960) ont observé, pour la première fois, l'hypothermie maligne chez l'homme lorsque plusieurs membres d'une même famille ont eu de fortes réactions à l'halotane. On a signalé l'hypothermie maligne chez plusieurs autres espèces, notamment le chien (Bagshaw et al., 1978), le chat (De Jong et al., 1974), le cheval (Klein, 1975) le daim (Pertz et Sunberg, 1978) et la volaille (Korczyn et al., 1980).

B. Génétique de la sensibilité au stress chez le porc

1. Historique L'association de l'anesthésique halotane avec la mort subite du porc a été rapportée pour la première fois par Hall et al. (1966), après l'administration à trois porcs d'un anesthésique (halotane/suxamethonium), puis par Harrison et al. (1968) qui signalèrent une HM chez des porcs auxquels on avait administré seulement de l'halotane. Les chercheurs hollandais Eikelenboom et Minkema (1974) ont entamé des recherches sur le caractère héréditaire de cette condition et ont proposé un modèle à gène récessif unique (tableau 5.1) avec une pénétrance réduite (la proportion des animaux qui, génétiquement, devraient réagir à l'halotane et qui donnent effectivement un test positif) et une expressivité variable (variation du degré de réaction à l'halotane). Le modèle propose trois génotypes (nn, Nn et NN), reliés à trois phénotypes (halotane positif, porteur, halotane négatif). Ce modèle est généralement accepté aujourd'hui, mais avec une pénétrance élevée à complète (Smith et Bampton, 1977; Eikelenboom et al., 1977; Andresen, 1979; Webb, 1981; Sather et Murray, 1986), comme étant extrêmement utile pour détecter une HM chez le porc. Ollivier et al. (1975) ont toutefois proposé un modèle à pénétrance incomplète. C'est le modèle d'Eikelenboom qui a montré le plus grand potentiel pour les tests pratiques; il a conduit à l'utilisation de tests à l'halotane sur les reproducteurs dans les programmes canadiens d'amélioration du porc. Cependant, le caractère héréditaire de la sensibilité au stress étant généralement considéré comme récessif, on continue de déployer des efforts considérables pour mettre au point des techniques qui permettront d'identifier le porc hétérozygote (le porteur) qui produit un test halotane négatif (tableau 5.1)

Tableau 5.1 Génotype et phénotypes associés du gène de sensibilité à l'halotane, dans l'hypothèse d'un modèle Mendelien à gène récessif unique avec pénétrance complète

Génotype	Phénotype
nn	Halotane positif
nN	Halotane négatif (porteur)
NN	Halotane négatif (normal)

2. Gène unique ou gènes multiples Lorsque le test à l'halotane (Eikelenboom et Minkema, 1974) est défini comme une exposition simple (à l'halotane seulement) de courte durée (jusqu'à 5 min, mais pas plus) à une forte concentration (de 4 à 5 %) de l'anasthésique halotane, on observe un trait qui obéit à la loi de Mendel sur le patrimoine héréditaire dominé par un gène unique. Avec des tests de plus longue durée, pouvant aller jusqu'à 20 min, cet état semble être <<une dominance complexe avec gène unique dominant modifié, ou deux gènes codominants pour donner une série échelonnée de phénotypes....>> (Williams et al., 1977). Les mêmes auteurs ont recommandé aussi un test à la succinylcholine en plus du test à l'halotane pour qu'un porc soit considéré comme normal, mais ils ont signalé ensuite des difficultés, avec des porcs produisant des tests négatifs successifs. Les travaux de Hall et al. (1972) ont aussi paru indiquer que si l'on ajoute la succinylcholine au test standard d'Eikelenboom à l'halotane, la transmission du gène semble être sous le contrôle d'un gène dominant. Britt et al. (1977), qui ont utilisé à la fois le test de contraction à la caféine sur des biopsies musculaires et une exposition à l'halotane pouvant atteindre 100 min, ont émis l'idée que la transmission héréditaire de ce trait est sous le contrôle de plus d'un gène. Ainsi donc, c'est seulement lorsque l'on tente de faire apparaître le gène comme dominant ou d'identifier le porc porteur que la transmission héréditaire ne suit pas les modèles mendéliens classiques.

3. Modèle à gène dominant ou modèle à gène récessif Webb et al. (1986) ont soumis des porcs âgés de 6 à 7 semaines à une exposition standard à l'halotane d'une durée de 3 min, suivie d'une injection de succinylcholine. Ce test a révélé des différences entre les génotypes, mais il n'était pas assez précis pour permettre d'identifier les hétérozygotes (porteurs). De plus, ce test est trop complexe pour être employé dans la pratique. Alors qu'il est bien établi que les aspects pharmacologiques du SSP sont récessifs, les aspects concernant la qualité de la viande peuvent être additifs (Jensen et Barton-Gade, 1985; Murray et Sather, 1986), Cela signifie que les traits de qualité de la viande (PSE) du porteur sont intermédiaires entre ceux de porcs sensibles au stress et celles de porcs normaux.

4. Pénétrance Le test standard (de 3 à 5 min, halotane de 4 à 5 %) a généralement mis en évidence un trait à forte pénétrance. Eikelenboom et Minkema (1974) ont d'abord rapporté que le gène avait une pénétrance incomplète, mais ont constaté par la suite (Eikelenboom et al., 1977) que le trait avait une pénétrance complète, dans l'hypothèse d'un gène récessif unique. Sather et Murray (1986) sont d'accord sur ce modèle et rapportent une pénétrance pratiquement complète de ce gène dans leurs populations. Ollivier et al. (1975) ont rapporté une pénétrance incomplète. Il est à noter aussi que de fausses réactions positives à l'halotane sont pratiquement inconnues. Les variations de pénétrance rapportées par ces chercheurs peuvent être fonction des populations testées (ex. races).

Selon Carden et Webb (1984), la pénétrance de la réaction positive à l'halotane augmente avec l'âge. Elle était faible (<0,75) pour les porcs âgés de moins de 35 jours et élevée (>0,85) pour les porcs âgés de plus de 56 jours. Puisque l'expression du génotype halotane positif dépend de l'âge, on doit tenir compte de ce facteur lors des tests effectués sur les porcs. Dans le programme de tests à l'halotane réalisés à Lacombe, les porcs sont généralement testés entre 49 et 56 jours d'âge.

5. Expressivité variable L'expression séparée de deux phénotypes distincts, halotane positif et halotane négatif, n'est pas absolue. Webb (1980) a décrit un troisième phénotype, peu fréquent et <<douteux>>, qui n'entre dans aucune des deux classifications principales. Sather et Murray (1986), ainsi que d'autres chercheurs, ont rapporté des variations dans le degré de réaction. Les porcs qui possèdent un génotype **nn** peuvent produire une gamme de réactions, y compris des réactions si faibles qu'elles peuvent être qualifiées de douteuses pour les porcs qui succombent au stress causé par l'halotane. Aucun chercheur n'a été en mesure de fournir une explication entièrement satisfaisante des variations en ce qui concerne le degré de réaction ou le moment où la réaction commence, mais seulement d'affirmer l'existence de gènes modificateurs. Il est aussi probable que l'état physiologique du porc avant le test puisse avoir une influence sur le degré d'intensité de la réaction.

6. Pléiotropie La sensibilité génétique au stress a aussi été associée à un large éventail d'autres traits, directement liés à la définition pharmacologique stricte de la HM. Le fait le plus notable est que les porcs halotane positifs sont plus sujets au stress que les porcs halotane négatifs et que leur viande est de moins bonne qualité (PSE) (couleur, perte à l'égouttement, capacité de rétention d'eau par exemple). De plus, cet état est souvent associé à une conformation fortement musclée, à une réduction du gras sur la carcasse, à une augmentation du maigre, à des variations dans les taux de croissance et de conversion des aliments, à un potentiel de reproduction réduit chez les femelles, ce qui inclut aussi bien des portées réduites que des pertes de durée de la productivité des truies au cours de leur vie et des changements dans les caractéristiques séminales. Ainsi, ce ou ces gènes ont une large gamme d'effets, dépassant les préoccupations initiales de moins bonne qualité de la viande et de mort soudaine liées au syndrome SSP/PSE.

C. Relation entre la sensibilité génétique au stress et les caractéristiques de reproduction

La sensibilité génétique au stress a un effet important sur les performances de reproduction de la truie, en termes de nombre d'individus de la portée à la naissance et au sevrage. Webb et Jordan (1978) ont rapporté des réductions de 1,6 et 1,1 porc, respectivement à la naissance et au sevrage, pour les truies halotane positives. Webb et al. (1982) ont rapporté un taux de conception inférieur de 24 % chez les femelles halotane positives. Carden

et al. (1985) ont trouvé 1,07 et 1,56 porc de moins, à la naissance et au sevrage dans leur lignée sensible au stress (SS) que dans leur lignée résistante au stress (SR). En se basant sur un modèle à gène récessif unique, on a obtenu des portées de porcs porteurs en accouplant des verrats RS à des femelles SS. Les portées obtenues comptaient respectivement 1,27 et 1,88 porcs de moins, en moyenne, que des portées obtenues de mères RS. Cela pourrait faire penser que le gène de sensibilité à l'halotane peut aussi accroître la mortalité périnatale et postnatale chez des porcs apparemment résistants au stress. Lampo et al. (1985) n'ont pas constaté de différence de prolificité entre jeunes truies halotane négatives et halotane positives; toutefois la deuxième portée des truies halotane négatives comptait en moyenne 0,4 porcelet né vivant de plus que celles des truies halotane positives. La différence passait à un porcelet dans les portées suivantes. Willeke (1986) signale non seulement des portées comptant près de 0,2 porcelet de moins à la naissance chez les truies halotane positives, mais une réduction de plus de 0,5 porc dans le nombre d'individus des portées sevrées. Les truies halotane positives produisent en outre 1,1 portée de moins que les halotane négatives.

D'après les observations de Schlenker et al. (1984), le volume de l'éjaculat, la motilité des spermatozoïdes, la proportion de spermatozoïdes normaux et la quantité totale de sperme par éjaculat étaient moins grands chez les verrats halotane positifs que chez les halotane négatifs. Soixante-douze pourcent des verrats halotane positifs produisaient un sperme de qualité satisfaisante, contre 64,5 % seulement des verrats halotane positifs.

D. **Relation entre la sensibilité génétique au stress et les caractéristiques** de performance

Il est généralement admis que la sensibilité génétique au stress réduit le taux de croissance (Carlson et al., 1980; De Wilde, 1984); toutefois, cet effet n'est pas toujours signalé. Webb et Jordan (1978) ont rapporté une réduction peu importante du taux de croissance, de 15 g par jour, tandis que Vogeli et al. (1983) ont observé des réductions importantes. Hanset et al. (1982) ont démontré qu'un taux de croissance ralenti était associé à une réaction positive au test à l'halotane, aussi bien chez les mâles que chez les femelles, mais que les différences n'étaient importantes que chez les femelles. Webb (1980), en résumant 12 études, a montré que les différences entre porcs halotane positifs et halotane négatifs s'échelonnaient entre -47 et 28 g par jour, avec une moyenne de -2 g par jour. Les taux de consommation quotidienne d'aliments et de conversion des aliments sont étroitement liés au taux de croissance. Webb et Jordan (1978) n'ont remarqué aucune différence entre animaux halotane positifs et halotane négatifs en ce qui concerne le gras dorsal. De Wilde (1984) signale cependant moins de gras dorsal chez les halotane positifs, tandis que Hanset et al. (1982) n'ont pu démontrer que chez les femelles une différence importante sur les épaules et le dos, mais ont mesuré moins de gras dorsal sur la longe chez des porcs halotane positifs des deux sexes. Jones et al. (1987a) ont émis l'idée que la répartition du gras sous-cutané pourrait être différente dans les carcasses de porcs halotane positifs et halotane négatifs. Cela pourrait avoir d'importantes conséquences en ce qui concerne le système de classement des carcasses, puisque ces porcs pourraient avoir plus de gras dorsal à différents endroits le long de la longe

tout en présentant un accroissement de 4 à 5 % du rendement en muscle de la carcasse.

E. Relation entre la sensibilité génétique au stress, le rendement de la carcasse et la qualité de la viande

Il a été bien établi (Carlson et al., 1980; Webb et Jordan, 1978; De Wilde, 1984; Vogeli et al., 1983) qu'il existe un lien entre la sensibilité à l'halotane et la teneur en tissu musculaire. Webb et al. (1982), en se basant sur 14 études, ont signalé une diminution de 1 mm de l'épaisseur moyenne de gras dorsal de la carcasse. Ils ont observé aussi une couleur <<plus pâle>> et une qualité <<moins bonne>> de la viande des porcs halotane positifs comparée à celle des porcs halotane négatifs. Webb et Jordan (1978) ont signalé une incidence de 31,7 % de viande PSE pour les carcasses de porcs halotane positifs contre 10,2 % chez les halotane négatifs. Murray et Sather (1986) ont constaté que leur lignée de porcs halotane positive a produit de la viande PSE avec une fréquence supérieure à 80 %, alors que le même laboratoire a rapporté moins de 10 % de PSE dans une lignée Lacombe 100 % halotane négative. Le gène de sensibilité à l'halotane ne produit cependant pas les mêmes effets sur la qualité de la viande chez toutes les races. Barton-Gade et Olsen (1987) ont trouvé une incidence plus faible de viande PSE chez les Large White danois halotane positifs que chez les Landrace danois halotane positifs. Ils ont observé aussi une chair plus DFD chez les Large White danois que chez les Landrace danois. Ces résultats font penser qu'il pourrait exister dans des races différentes soit des allèles halotane positifs différents, soit des gènes modificateurs.

F. Distribution des populations de porcs

Webb et al. (1982) ont examiné la distribution de la sensibilité génétique au stress chez le porc anglais et chez d'autres porcs. Ils ont trouvé chez les Large White ou les Yorkshire une incidence très faible, proche de 0 %, mais une incidence allant jusqu'à 100 % chez les Pietrain hollandais (tableau 5.2).

Tableau 5.2 Taux de porcs halotane positifs (HP) chez des races de différents pays[a]

Race	Nombre d'études	Nombre de porcs	% HP
Yorkshire/Large White:			
Américain	1	225	0
Australien	1	140	0
Irlandais	1	58	0
Anglais	1	1758	1
Canadien	1	5342	1
Norvégien	1	169	1
Hollandais	2	1394	3
Suisse	1	1130	6
Landrace:			
Canadien	1	3724	2
Australien	1	1206	5
Irlandaisl	1	168	5
Norvégien	3	2146	5
Danois	2	1990	7
Allemand (RDA)	1	300	10
Anglais	1	1646	11
Finlandais	1	2003	12
Suisse	1	7480	13
Suédois	1	1668	15
Français	1	127	17
Hollandais	3	4073	22
Allemand (RFA)	2	1251	68
Belge	5	1260	86
Pietrain:			
Français	1	335	31
Belge	3	795	88
White Meat:			
Slovaque	1	112	9
Lacombe:			
Canadien	1	412	3
Hampshire:			
Américain	2	232	2
Duroc:			
Américain	3	248	0

[a] Mise à jour d'après Webb et al., 1982.

Étant donné que l'on ne faisait pas de tests à l'halotane au Canada à cette époque, aucune donnée canadienne n'a été rapportée dans cette étude. En 1983, l'incidence globale au Canada était de 1,82 %, si l'on se base sur la moyenne obtenue pour les trois races (Yorkshire, Landrace, Lacombe) chez lesquelles certains porcs présentent une réaction. Comme on l'a observé pour d'autres populations ailleurs dans le monde, l'incidence au Canada est plus élevée chez les Landrace que chez les Yorkshire (tableau 5.3). L'incidence de porcs halotane positifs au Canada est l'une des plus basses du monde. Il est intéressant de remarquer que des gènes de sensibilité à l'halotane ont été identifiés dans la race Lacombe mais que la Station de recherches de Lacombe, qui a un programme intensif de tests à l'halotane, n'a pas encore trouvé un porc Lacombe halotane positif (Sather et Murray, 1986). Aucune réaction positive à l'halotane n'a été signalée chez les porcs canadiens de couleur depuis le début des tests à l'halotane au Canada, mais les nombres d'animaux soumis aux tests sont relativement peu élevés.

Même si le tableau 5.3 semble présenter une image quelque peu partiale de la fréquence des animaux halotane positifs, puisque ce sont des troupeaux qui y sont identifiés et non des individus, on peut voir que la sensibilité génétique au stress est bien implantée chez toutes les races blanches canadiennes, et cela dans toutes les régions du Canada. C'est chez les Landrace que l'incidence initiale du gène halotane était la plus élevée, et elle l'était un peu moins chez les Yorkshire. Il apparaît toutefois que les éleveurs de Landrace ont réussi à réduire le nombre de troupeaux présentant le gène, comparativement aux Yorkshire. Il existe trop peu de troupeaux Lacombe pour faire une évaluation cohérente de la fréquence des troupeaux qui contiennent des halotane positifs. Ces résultats indiquent toutefois que même si la fréquence de ce gène est faible comparativement à celle qui existe dans d'autres pays, il est néanmoins bien distribué dans tout le troupeau national canadien.

Évidemment, vu la faible fréquence génique du gène halotane et la distribution uniforme des porcs sensibles à l'halotane à travers le Canada, le test à l'halotane ne sera pas à lui seul un outil efficace pour réduire la fréquence du gène halotane. Par contre, si le test est utilisé conjointement avec d'autres outils génétiques qui peuvent aider à identifier ces porcs hétérozygotes (Nn), tels que les marqueurs génétiques (loci Pgd et Phi par exemple), il pourrait être possible d'identifier les porcs porteurs et de réduire ainsi avec plus d'efficacité l'incidence des animaux porteurs de la sensibilité au stress.

Tableau 5.3 Nombre de troupeaux dont les verrats ont été soumis à des tests en station dans le cadre du programme ROP sur le porc canadien et pourcentage de ces troupeaux comptant au moins un verrat halotane positif

		Nombre de troupeaux			% Troupeaux halotane positifs		
Race	Prov.[a]	1983	1984	1985	1983	1984	1985
Yorkshire	NS	10	11	5	10,0	9,1	0,0
	PQ	21	19	27	0,0	9,5	14,8
	ON	70	61	58	4,3	9,8	0,0
	MN	16	16	10	0,0	0,0	10,0
	SA	11	11	11	0,0	9,1	0,0
	AB	25	25	21	0,0	4,0	19,0
Landrace	NS	15	15	8	14,0	33,3	25,0
	PQ	28	24	27	25,0	20,8	14,8
	ON	44	46	39	13,6	4,3	0,0
	MN	3	6	4	33,3	16,7	0,0
	SA	5	5	4	20,0	0,0	0,0
	AB	10	7	9	10,0	42,9	11,1
Lacombe	NS	1	1	0	0,0	0,0	---
	PQ	1	2	3	0,0	0,0	33,3
	ON	2	0	2	0,0	---	0,0
	MN	1	1	0	0,0	0,0	---
	SA	5	2	0	20,0	0,0	0,0
	AB	4	4	3	25,0	0,0	33,3
Yorkshire		153	143	132	2,6	7,7	6,8
Landrace		105	103	91	20,9	15,5	7,7
Lacombe		14	10	10	14,2	0,0	20,0
Total		282	256	233	9,9	10,5	7,7

[a]Agriculture Canada, 1986 NS = Nouvelle-Écosse, PQ = Québec, ON = Ontario, MN = Manitoba, SA = Saskatchewan, AB = Alberta

G. Effets des tests à l'halotane

En 1983, la fréquence de la sensibilité génétique au stress variait de 0,069 chez les Yorkshire à 0,238 chez les Lacombe, avec une moyenne nationale de fréquence génique de 0,135 pour toutes les races, (tableau 5.4). S'il est admis que c'est là une fréquence génique appropriée pour le troupeau national, et si l'on suppose que les populations sont en équilibre génétique, les calculs présentés au tableau 5.5 indiquent les changements de cette fréquence auxquels on peut s'attendre pour différentes intensités de sélection.

Tableau 5.4 Fréquence des porcs halotane positifs (H^+) et fréquence génique estimative du gène (Q) chez les porcs testés pour la réaction à l'halotane en station d'essai

	1983				1984				1985			
Race	Nombre de porcs	H^+†	$\%H^+$	Q*	Nombre de porcs	H^+	$\%H^+$	Q	Nombre de porcs	H^+	$\%H^+$	Q
Yorkshire	1851	9	0,049	0,069	1887	22	1,17	0,108	1604	11	0,68	0,083
Landrace	1268	43	3,39	0,184	1334	25	1,87	0,137	1122	9	0,80	0,090
Lacombe	124	7	5,65	0,238	142	0	0,00	0,0	146	4	2,74	0,166
Total	3243	59	1,82	0,135	3363	47	1,40	0,118	2872	24	0,84	0,091

† H^+ - halotane positif, *Q = Fréquences géniques.

Tableau 5.5. Changements attendus dans la fréquence génique (Q) pour différents niveaux d'intensité de la sélection (S)

	Fréquence génique		
	1983	1984	1985
Intensité de la sélection			
1,0	0,135	0,119	0,106
0,5	0,135	0,127	0,120
0,1	0,135	0,133	0,132
0,05	0,135	0,134	0,133
Fréquence observée	0,135	0,118	0,091

L'intensité de la sélection (s) est la proportion de porcs halotane positifs qui sont réformés. Si tous les porcs (verrats et jeunes truies) étaient testés et si l'on n'utilisait que des porcs négatifs pour la reproduction, on aurait s=1. Puisque seuls les verrats sont testés présentement, la valeur maximale que peut atteindre s est seulement 0,5. On a estimé que 10 % seulement des verrats utilisés pour la reproduction sont testés en station et donc soumis au test à l'halotane. Dans les conditions canadiennes actuelles, s ne peut donc pas être supérieur à 0,05 par génération. On a supposé que l'intervalle entre générations est d'une année. Dans un troupeau de porcs typique, il est de l'ordre de 2,5 à 3 ans. Ainsi, la fréquence génique estimée devrait diminuer d'environ 0,001 par génération ou de 0,0004 par an, taux qui ne pourrait pas être décelé dans nos conditions actuelles d'exécution de tests et avec nos procédés d'échantillonnage. Cependant, d'après le tableau 5.4, la fréquence apparente des porcs halotane positifs décroit à un rythme supérieur à celui qu'il est possible d'obtenir dans les conditions de sélection idéales (s=1,0). Il est donc évident que les conditions d'équilibre supposées n'ont pas été remplies. La plus importante dérogation à l'équilibre découle probablement d'un accouplement non aléatoire en ce qui a trait au gène halotane. Cela entraînerait une sous-estimation de la fréquence du gène halotane, puisque le génotype nn se retrouverait moins fréquemment que ce qui était prévu dans des conditions d'équilibre. Cette stratégie de reproduction, même si elle réduit le nombre de porcs réagissant (nn) dans les stations de tests, risque d'avoir peu d'effet pour réduire l'incidence globale de PSE provenant des porcs porteurs (Nn).

Pour illustrer encore ce point, le Large White était considéré comme exempt du gène halotane en Grande-Bretagne (Webb et al., 1982), d'après des tests exécutés dans le cadre d'une enquête par des méthodes analogues à celles qui sont utilisées au Canada. Lorsque Southwood (1985) a effectué des tests

sur la descendance des Large White anglais en utilisant des porcs qui réagissaient au gène, on a détecté une fréquence du gène de 0,11. Ainsi, bien que les tests à l'halotane puissent être un moyen de surveillance efficace, il ne convient pas de les utiliser pour des estimations de fréquence du gène à moins qu'ils ne soient couplés à des procédures d'échantillonnage appropriées, s'appuyant sur des tests sur la descendance ou établies dans le cadre de la conception des expériences.

H. Stratégies de sélection

La réduction (ou l'élimination) de la sensibilité au stress dans la population porcine du Canada sera une tâche difficile (ou quasi impossible). Le gène est bien implanté chez toutes les races blanches dans tout le Canada. Toutefois, la fréquence des porcs halotane positifs n'explique qu'une petite proportion de la viande de porc PSE que l'on observe au Canada. Un certain nombre de rapports (Jensen et Barton-Gade, 1985; Webb et al., 1986; Murray, 1987) ont émis l'idée que les porcs porteurs (**Nn**) pouvaient aussi avoir une viande de qualité amoindrie. S'il peut être prouvé que cela s'applique aux races canadiennes, ce modèle génétique additif pourrait expliquer une forte proportion des problèmes de qualité de la viande constatés au Canada. Si l'on admet une fréquence génique de 0,135, on aurait seulement 1,8 % de porcs halotane positifs (**nn**), mais 23,3 % seraient des porteurs (**Nn**), plus susceptibles de produire de la viande PSE que les porcs normaux (**NN**). Ce modèle génétique implique donc un rôle beaucoup plus important du gène halotane dans la détermination de la qualité de la viande des porcs canadiens que ce que l'on pensait au départ avec l'hypothèse du modèle à gène récessif. Il implique sa responsabilité pour près de la moitié de l'incidence actuelle de viande PSE observée dans les abattoirs commerciaux. Il existe plusieurs domaines dans lesquels nos connaissances sur le gène halotane sont limitées. Au Canada, les travaux de la Station de Lacombe sur la qualité de la viande des porcs porteurs ont montré une proportion de viande PSE qui se situe à un niveau intermédiaire entre celles des porcs halotane positifs et halotane négatifs. La lignée halotane positive de Lacombe était basée sur des croisements entre des Piétrains pur sang et des animaux géniteurs Lacombe. On aurait pu ne pas obtenir les mêmes résultats avec d'autres races de porcs blancs comme les Yorkshire ou les Landrace. Ainsi, nous sommes d'avis qu'il est assez urgent d'évaluer la qualité de la viande de porcs porteurs (halotane positifs x normaux et leurs croisements réciproques) pour les principales races élevées au Canada. Si l'on constatait que le même modèle est applicable d'une façon générale aux races communément élevées au Canada, il faudrait alors chercher à estimer la fréquence des porteurs dans le troupeau national. La méthode à appliquer à cette fin est exposée au prochain chapitre. Nous recommanderions en même temps que tous les animaux géniteurs importés et les verrats <<A.I.>> soient soumis à des tests sur la descendance pour ce qui est de la sensibilité au stress. Ceci impliquerait le maintien de lignées de porcs halotane positifs. Toutefois, des travaux récents ont paru indiquer que certains porteurs réagissent au test à l'halotane et cela pourrait entraîner l'identification de faux positifs.

Puisque la proportion de viande PSE a augmenté dans la plupart des pays, nous pourrions conclure ce chapitre en présentant plusieurs hypothèses permettant d'expliquer ces faits:

1. Qu'il existe une relation générale entre la proportion de viande maigre dans la carcasse et la qualité du muscle (couleur, capacité de rétention d'eau) et que la sélection visant à accroître le taux de croissance de la viande maigre entraînera aussi une augmentation de la proportion de viande PSE.

2. Que certains types de porcs fortement musclés et maigres produisent de la viande de qualité inférieure.

3. Que la nature plus intensive de l'industrie (grandes unités de production et abattoirs centraux) a imposé au porc moderne de plus grands degrés de stress, ce qui entraîne une incidence accrue de viande PSE.

L'hypothèse 1, si elle était vérifiée, poserait de très sérieux problèmes à l'industrie du porc, puisque les programmes de reproduction mettent beaucoup l'accent sur une production efficace de tissu maigre. Alors que les expériences de sélection à long terme dans le but d'augmenter le taux de croissance n'ont généralement pas abouti à une baisse de qualité de la viande comme réponse génétique corrélative, elles n'ont généralement pas porté sur le porc génétiquement maigre (par exemple, avec moins de 12 mm de gras au niveau de la dernière côte pour un poids vif de 100 kg.). Quoi qu'il en soit, les données disponibles (Sather et al., 1981) font penser que certains types de porcs (par exemple ceux qui présentent une conformation fortement musclée) pourraient être responsables non pas de tous les problèmes de qualité de la viande mais d'une forte proportion d'entre eux. Des études génétiques à long terme, utilisant des lignées exemptes de sensibilité génétique au stress (gène halotane) sont encore nécessaires pour vérifier l'hypothèse 1.

L'apparition de lignées de porcs halotane positives (Webb, 1981; Jensen et Barton-Gade, 1985; Murray et Sather, 1986) a confirmé l'hypothèse 2. Chez les porcs halotane positifs (génotype **nn**) et les porteurs (génotype **Nn**), le rendement des carcasses en viande maigre est plus élevé que chez les porcs normaux. Dans certains programmes d'élevage, ils pourraient être considérés comme des animaux supérieurs pour ce qui est des caractéristiques de rendement de la carcasse.

Toutefois, des éléments récents (Jensen et Barton-Gade, 1985; Murray et Sather, 1986) semblent montrer que les porcs porteurs (**Nn**) pourraient avoir une viande de qualité intermédiaire entre celles des homozygotes **NN** et des homozygotes **nn**. Ainsi, même si la fréquence des porcs halotane positifs est faible (environ 1,8 %), le taux de porteurs du gène de sensibilité à l'halotane peut être substantiel (23,3 %) et il joue un rôle significatif en ce qui a trait à la quantité de viande de porc PSE que l'on trouve au Canada. Cependant, il apparaît de plus en plus clairement que le milieu (hypothèse 3) a une influence décisive sur l'incidence globale de porc PSE. La production canadienne de porc ne s'est pas seulement accrue ces 25 dernières années, mais elle est devenue plus intensive. Les grands abattoirs voient couramment passer jusqu'à 30 000 porcs par semaine. Il ne fait guère de doute que le porc moderne est soumis à un plus grand degré de stress que par le passé au cours de la commercialisation (le temps qui s'écoule entre la ferme et l'abattoir).

6. DÉTECTION DE LA SENSIBILITÉ AU STRESS ET TESTS EMPLOYÉS

A. Sather et A.C. Murray

A. Marqueurs génétiques

Les tests à l'halotane se sont révélés trés utiles pour l'identification des porcs homozygotes sensibles au stress (génotype **nn** - tableau 6.1), mais inefficaces pour identifier les hétérozygotes (génotype **Nn**). De plus, les tests à l'halotane effectués sur le terrain au Canada sont généralement limités, vu leur coût, aux porcs élevés dans les stations de tests. Pour ces raisons, un travail considérable se fait en Europe pour évaluer des marqueurs génétiques qui exigent un échantillon de sang pour déterminer la présence ou l'absence des loci d'un certain groupe sanguin. Archibald et Imlah (1985) ont souligné que le gène halotane est membre d'un groupe de linkat qui comprend cinq autres loci de gènes liés:

1. Le locus du groupe sanguin S(A-O), qui inhibe l'expression du groupe sanguin A-O. L'allèle S^S inhibe l'expression des groupes sanguins A et O et est récessif par rapport à l'allèle S^S dominant, ce qui permet aux antigènes des groupes sanguins A et O de s'exprimer.

2. Le locus du groupe sanguin H est un système multiallélique composé de 6 allèles (formes différentes du même gène) qui contrôle une série d'antigènes des érythrocytes. Les allèles de ce système ont été classés d'habitude comme étant l'allèle H^a (présence de l'antigène <<a>>) et l'allèle composé H^- (absence de l'antigène <<a>>).

3. Le locus de la 6-phosphogluconate déshydrogénase (Pgd) des érythrocytes du porc possède deux allèles codominants Pgd^A et Pgd^B.

4. Le locus de la postalbumine-2 (Po-2) des protéines du sérum sanguin du porc possède deux allèles codominants Po2F et Po2S.

5. Le locus de la phosphohéxose isomérase (Phi) des érythrocytes du porc possède deux allèles codominants PhiA et PhiB.

Les loci codominants, dans lesquels les deux gènes situés en un même locus s'expriment simultanément, sont particulièrement utiles puisque le génotype complet pour ce locus peut être établi aisément.

L'utilisation de marqueurs génétiques comme outil de prévision pour déterminer la probabilité qu'un porc soit porteur de la sensibilité au stress dépend d'un déséquilibre du linkat. C'est-à-dire que certains halotypes (combinaisons d'allèles spécifiques situés en différents loci, sur un même chromosome) ont une plus grande probabilité d'exister que celle à laquelle on pourrait s'attendre si la population était en équilibre. Le côté mathématique de la question dépasse la portée de la présente revue, mais on peut examiner d'une manière générale plusieurs points qui concernent l'utilisation de marqueurs génétiques pour la localisation des porcs porteurs.

1. Un déséquilibre du linkat signifie que certains allèles (variantes d'un gène) provenant de deux loci sont associés ou corrélés entre eux. Cela implique qu'un gène marqueur peut seulement indiquer une probabilité pour ce qui est de savoir si un porc est porteur ou pas. La présence ou l'absence du gène marqueur n'est pas une preuve, mais plutôt une bonne indication qu'un porc est porteur ou ne l'est pas. On pourra identifier avec plus de certitude un porc porteur en utilisant deux ou plusieurs loci marqueurs.

2. Puisque deux ou plusieurs loci interviennent, des séquences de recombinaison peuvent se produire entre eux. Un gène marqueur peut donc changer de phase. Le crossing over entre deux loci conduit à la dégénérescence du déséquilibre du linkat. Ainsi le déséquilibre du linkat sera plus stable avec des loci étroitement liés. S'il n'y a aucun linkat entre deux loci, tous les <<déséquilibres de linkat>> se perdront en une génération d'accouplement au hasard.

3. Le déséquilibre du linkat qui existe entre deux loci quelconques dépend de la population et est sujet à la dérive génique (c'est-à-dire que le déséquilibre du linkat varie d'une population à une autre) ainsi qu'à des erreurs d'échantillonnage. Les paramètres, et par conséquent l'utilité d'un marqueur, doivent être déterminés pour chaque population particulière.

Alors que les marqueurs génétiques peuvent être utiles pour déterminer si un porc est porteur ou ne l'est pas, il faut accomplir un travail de base considérable avant l'application générale et l'adoption de telles techniques. L'efficacité de l'utilisation des marqueurs dépend de deux paramètres génétiques qui peuvent varier d'une population à une autre:

1. fréquence génique du gène marqueur et du gène primaire, et

2. déséquilibre de linkat entre le gène marqueur et le gène primaire.

Si l'on veut recourir à des techniques génétiques pour améliorer la qualité de la viande au Canada, la première priorité devrait être de disposer dans les centres A.I. de porcs résistants au stress. On pourrait pour cela soumettre une lignée connue de truies halotane positives à un test sur la descendance et soumettre au test à l'halotane la descendance obtenue. Après avoir adopté les procédés de détermination des types sanguins pour s'en servir comme marqueurs génétiques, il faudrait utiliser ceux-ci pour remplacer les tests sur la descendance, qui sont longs et coûteux.

B. **Marqueurs physiologiques**

1. Enzymes du sang Des tests ont été faits avec un certain nombre d'enzymes du sang, pour voir s'ils permettraient de prédire la sensibilité au stress qu'indique un test halotane positif (Sybesma et Eikelenboom, 1978). Ainsi, on a trouvé des niveaux de lactate hydrogénase du sérum (LDH), de glutamate oxalate transférase (GOT) et d'aldolase plasmique plus élevés chez les porcs halotane positifs (H+)

que chez les porcs halotane négatifs (H-), même s'il n'existait pas de corrélation étroite entre les taux de ces enzymes et la réactivité à l'halotane. Comme ces enzymes se retrouvent dans la plupart des tissus corporels, de multiples causes peuvent contribuer à accroître leur concentration sanguine.

La créatine phosphokinase (CPK) semble prometteuse en tant qu'indicateur de sensibilité au stress (Mitchell et Heffron, 1982). Cette enzyme est concentrée dans les tissus musculaires et les tissus du cerveau. La CPK sérique provient généralement des muscles et est un indicateur utile de détérioration musculaire causée par une maladie ou une lésion. Même si les taux dans le sérum sont très variables, en fonction de facteurs non liés à la sensibilité au stress (autres désordres musculaires, variations journalières, activité musculaire due à l'exercice, âge, etc.), ils sont constamment plus élevés chez les porcs H+ que chez les H-. La mesure de la CPK pourrait être utile si toutes les sources de variations qui interfèrent pouvaient être comprises et contrôlées.

2. Fragilité osmotique des érythrocytes Les globules rouges des porcs H ont une résistance à l'hémolyse par les sels différente de celle des porcs H . La mesure de la fragilité osmotique des érythrocytes est un test simple qui a montré un potentiel limité pour la détection des porteurs hétérozygotes du gène halotane (Harrison et Verburn, 1973). Il semble cependant que cette technique met en évidence des différences entre races qui ne sont pas liées à la sensibilité au stress. Elle devrait être raffinée et approfondie afin de maximiser les différences entre génotypes qui ont rapport avec l'halotane et de réduire la variabilité.

3. Libération de calcium mitochondrial Le taux de calcium libéré par les mitochondries des muscles est plus élevé chez les porcs H+ que chez les porcs H- (Cheah et Cheah, 1979). Il est cependant peu probable que cette observation soit incorporée à un test destiné à diagnostiquer la susceptibilité au stress, car il faudrait employer des techniques de biopsie et une démarche complexe pour isoler les mitochondries.

4. Morphologie des plaquettes sanguines et calcium lié aux membranes L'examen des plaquettes du sang au microscope electronique peut permettre de distinguer les porcs H+ des porcs H- (Basrur et al., 1983). La zone du système canaliculaire ouvert de la plaquette est plus grande chez les porcs H+ que chez les H-. Toutefois cette approche est beaucoup trop coûteuse et trop longue pour devenir un test de routine de la sensibilité au stress.

5. Taux d'hormones dans le sang Les hormones liées au stress (cortisol, catécholamines, hormones thyroïdiennes) sont généralement présentes à des taux plus élevés chez les porcs H+ que chez les porcs H-, mais les taux sont beaucoup trop variables pour permettre des prédictions en ce qui concerne la sensibilité au stress.

6. Production de chaleur On a observé que pendant l'administration de l'anesthésique (halotane), la température musculaire mesurée au moyen d'un thermomètre rectal augmentait considérablement chez les porcs H+ et non chez les porcs H-. Étant donné que cette élévation de température est assez aléatoire et que, lorsqu'elle est assez élevée pour être mesurée, le rétablissement du porc est peu probable, les mesures de la température du muscle ne peuvent guère servir d'outil de prévision. L'évaluation des techniques de thermographie à l'infrarouge utilisées pour détecter les variations de température chez les porcs stressés et non stressés, en fonction de leur réaction à l'halotane, est présentement en cours.

7. Examen microscopique du tissu musculaire L'examen microscopique du tissu musculaire, utilisant à la fois le microscope optique et le microscope électronique, peut détecter des anomalies structurales liées à la susceptibilité au stress. Ces techniques ne détectent cependant qu'un petit pourcentage des porcs H+.

8. Test de contraction musculaire Le test habituel qui permet de prédire l'hyperthermie maligne (HM) chez l'humain est le test de contraction in vitro, dans lequel des lambeaux de muscle sont exposés à des drogues pouvant provoquer une contraction, telles que l'halotane, la caféine et la succinylcholine. Ce test a eu des résultats très variables chez le porc et il est très exigeant sur le plan technique, mais puisqu'il semble identifier un plus grand nombre de porteurs que le test à l'halotane lui-même, des recherches plus poussées quant à son utilisation comme outil de prévision de la sensibilité au stress sont justifiées.

9. Métabolisme musculaire Les changements du pH et du taux de glycolyse qui se produisent dans les muscles après l'abattage, surviennent aussi dans un échantillon musculaire prélevé sur un porc vivant. On a montré que l'augmentation du taux de glucose-6-phosphate (G-6-P) et la baisse du taux d'adénosine triphosphate (ATP) provoquée par l'halotane sont liées à la susceptibilité au stress (Sybesma et Eikelenboom, 1978). Ces méthodes sont non seulement peu précises mais elles sont techniquement trop exigeantes pour être utilisées couramment.

Des efforts de recherche considérables sont réalisés, particulièrement en Europe, pour trouver des tests qui permettraient d'identifier avec précision les porcs génétiquement porteurs de la sensibilité au stress. Le domaine de recherche le plus prometteur est celui de l'utilisation de marqueurs génétiques, tels que les groupes sanguins, mais il n'y a pas de travaux en cours dans ce domaine au Canada.

7. INFLUENCES ANTE-MORTEM SUR LA QUALITÉ DU PORC

A.C. Murray et S.D.M. Jones

Le traitement réservé aux porcs au cours de la période de 48 h qui précède l'abattage joue un grand rôle dans les pertes économiques causées par les mortalités durant le transport, par les pertes de rendement des carcasses (rétrécissement et/ou meurtrissures) et par une viande maigre de qualité inférieure. Ces pertes sont, dans une grande mesure, liées à un manque d'aptitude à réagir aux facteurs de stress. Certains porcs, dont ceux qui présentent une réaction exceptionnelle à un anesthésique, l'halotane, sont particulièrement sensibles aux agents stressants.

A. Mortalités pendant le transport

Au Canada ces dernières années, il y a eu une moyenne de 1,2 porcs morts en cours de transport sur 1000 porcs transportés. À l'échelle du pays, la perte économique que ces mortalités en cours de transport représentent pour l'industrie sont estimés à plus de 2 millions de dollars par an. Le tableau 8.1 ci-dessous donne un aperçu, par région et par saison, des mortalités survenues en cours de transport, sur la base des porcs trouvés morts à l'arrivée à l'abattoir. Dans la plupart des régions, ces mortalités ont tendance à être plus fréquentes pendant les mois d'été, où les hautes températures et les niveaux élevés d'humidité accroissent le stress. On observe de grandes différences régionales, les Provinces de l'Ouest (Saskatchewan et Alberta) enregistrant les plus fortes pertes causées par les mortalités en cours de transport pendant la plupart des saisons. On n'a pas encore éclairci les raisons pour lesquelles ces morts sont près de trois fois plus élevées en Alberta et en Saskatchewan que dans d'autres régions du Canada. Certaines de ces différences régionales pourraient s'expliquer par des mortalités dans les parcs de rassemblement, avant l'arrivée des porcs à l'abattoir.

Les porcs sensibles au stress sont davantage sujets à la mort en cours de transport. Immédiatement avant la mort, ces porcs présentent généralement au moins certains des symptômes du syndrome de stress porcin (SSP): respiration saccadée, peau marbrée, hyperthermie et rigidité des membres.

B. Meurtrissures de la carcasse

Warris (1986) a étudié l'étendue des pertes causées par les meurtrissures en Grande-Bretagne. Entre 1969 et 1975, environ 2,6 porcs sur mille ont été rejetés partiellement ou totalement pour cause de meurtrissures. Les dommages à la peau causés surtout par les combats sont particulièrement préoccupants, car ces carcasses sont souvent impropres à la production de lard avec couenne. Ces problèmes de combats sont peut-être un peu plus fréquents en Grande-Bretagne, où l'on abat à grande échelle de jeunes verrats pour la production de viande. Une brochure de Grandin, décrivant la situation aux États-Unis, évalue à 46 millions de dollars les pertes annuelles de l'industrie de l'élevage causées par les meurtrissures. Les deux tiers environ de toutes les meurtrissures chez les porcs affectent la zone du

jambon, qui a beaucoup de valeur. Souvent les deux jambons sont abîmés, dans le cas de blessures causées par l'écarteur, qui peuvent provenir d'un sol glissant. Grandin est d'avis que les meurtrissures peuvent être causées dans une proportion importante par la négligence ou par des traitements abusifs. Les meurtrissures seront évitées en bonne part si on laisse les porcs avancer à leur propre allure en les guidant à l'aide de fouets en toile (non gelés) ou de planches, au lieu d'utiliser des baguettes, des bâtons, des aiguillons électriques ou de leur donner des coups de pied. Il est essentiel aussi d'aménager les installations de manière à permettre qu'ils marchent d'un pas assuré et à éviter les rampes fortement inclinées.

C. Perte de poids de la carcasse

Si les porcs ne mangent pas pendant une période prolongée, il est inévitable qu'ils perdent du poids. La figure 7.1 montre comment la durée du jeûne affectera le poids des porcs vifs (Warriss, 1986). Les pertes de poids vif sont de l'ordre de 0,2 % par heure.

Figure 7.1 Effet de la longueur du jeûne sur le poids vif des porcs

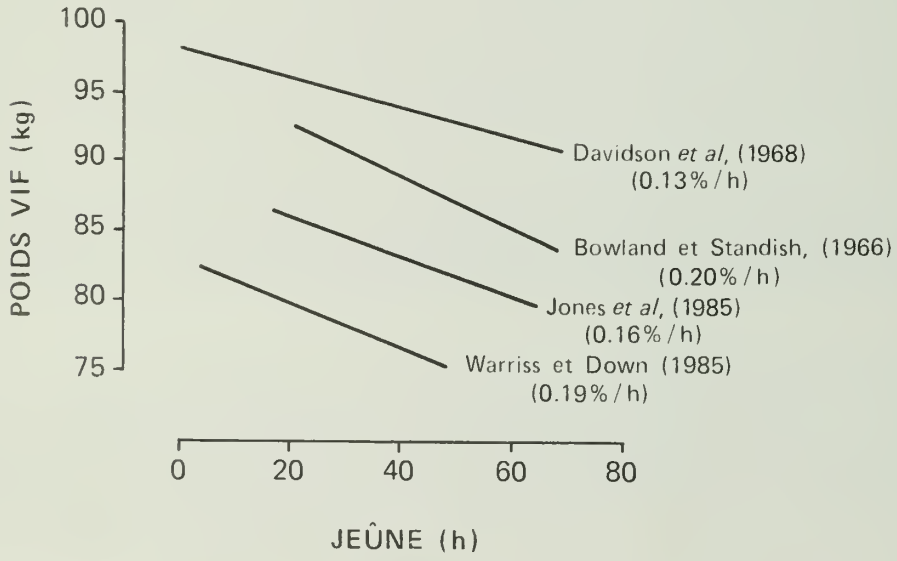


Tableau 7.1 Porcs commercialisés trouvés morts à l'arrivée à l'abattoir (en pourcentage des abattages totaux dans la région), par région et par saison (1984-1985)

Région							
Saison	Atlantique	Québec	Ontario	Manitoba	Sask.	Alberta	CB
Hiver (nov.-fév.)	0,09	0,09	0,07	0,06	0,18	0,24	0,17
Printemps (mars-mai)	0,11	0,11	0,08	0,06	0,19	0,21	0,11
Été (juin-août)	0,17	0,15	0,09	0,06	0,27	0,32	0,16
Automne (sept.-oct.)	0,14	0,13	0,09	0,05	0,15	0,18	0,13

Pourcentage global de mortalités 1984-1985 = 0,117 (sur la base de 13,138,237 porcs abattus). Renseignements communiqués par la Division de l'hygiène des viandes d'Agriculture Canada.

Les carcasses commencent à perdre du poids entre 9 et 18 h après le dernier repas; les pertes représentent ensuite approximativement 0,1 % par heure (Warriss, 1986). La distance et la durée du transport ont été mentionnées comme explications, mais le principal facteur qui détermine les pertes est probablement la durée de la privation d'eau et de nourriture. Il est évident que des facteurs de stress tels que les manipulations, la promiscuité, le transport et les températures élevées devraient exacerber les effets que peut avoir la privation d'eau et de nourriture. L'administration de solutions de sucrose immédiatement avant l'abattage accroît les rendements dans une proportion qui peut atteindre 3 % (Fernandes et al., 1979). Cependant, la baisse de qualité qui s'ensuit, dont témoigne une baisse du pH musculaire 45 min après l'abattage, peut contrebalancer le gain de poids potentiel.

D. Commercialisation

Beaucoup des pertes liées aux caractéristiques PSE/DFD ont été attribuées à la façon dont les animaux sont traités pendant la période précédant immédiatement l'abattage; on pense qu'elles sont causées par l'exposition du porc à des situations de stress qu'il n'a jamais rencontrées précédemment dans une mesure importante. Les facteurs de stress ci-après sont parmi les plus courants et peuvent être considérés comme ayant des composantes à la fois physiques et émotionnelles:

1. Interactions entre porcs Les porcs vivent normalement au sein d'une structure sociale très bien définie et ils ont un comportement fortement possessif à l'égard de leur territoire. Lorsque l'on regroupe en les mélangeant des porcs qui ne sont pas familiers entre eux, cela entraîne généralement beaucoup d'affrontements au cours de ce processus social de regroupement. Les porcs sont extrêmement stressés. De plus, les combats entraînent des pertes causées par des meurtrissures et peuvent affecter la qualité de certains muscles (Warriss et Brown, 1985; Warriss, 1986). On peut diminuer les effets du regroupement en employant des cloisons au cours du transport et en veillant à une bonne conception des enclos à l'usine de traitement. Comme les porcs préfèrent se tenir au périmètre de l'enclos, le long de barrières, il est préférable d'aménager des enclos longs et étroits aux points de rassemblement et dans les zones où les animaux sont parqués à l'usine de traitement.

2. Climat/Micro-environnement Les porcs sont particulièrement sensibles d'une part aux températures élevées et d'autre part aux fluctuations extrêmes de température. On sait que la fréquence des cas de porc PSE et des mortalités en cours de transport est particulièrement élevée pendant les mois les plus chauds de l'année. Comme les porcs n'ont pas grande possibilité de compenser les changements de température, il faut faire tout son possible pour assurer un contrôle de température et d'humidité approprié. À cause des températures extrêmement froides pendant les mois d'hiver dans la plupart des régions du Canada, il faut protéger les porcs contre les engelures.

   Le réglage de la température au cours du transport pour la commercalisation est d'importance critique. On veillera à ce que les camions soient suffisamment ventilés et on évitera d'y entasser trop de porcs. Des densités de chargement comprises entre 0,34 m^2 et 0,41 m^2 par porc sont recommandées (Agriculture Canada, 1984b). Il y a eu très peu de travaux réalisés au Canada sur la densité de chargement dans les camions, son interaction avec les conditions environnementales et les effets sur la qualité de la viande. Des travaux ont été réalisés récemment en Hollande (Lambooy et al., 1985) sur l'effet combiné de longues périodes de transport (44 h) et de trois densités de stockage dans un camion à trois étages (0,66; 0,44 et 0,33 m^2/porc). Les porcs disposant de 0,66 m^2 chacun s'asseyaient ou s'allongeaient tranquillement avant que les deux premières heures du voyage ne soient écoulées. Environ le tiers du compartiment était inocupé. Les porcs disposant de 0,44 m^2 s'asseyaient ou s'étendaient calmement environ de 15 à 30 min plus tard que les porcs les moins serrés. Dans le compartiment où la densité était la plus élevée (0,33 m^2/porc), il n'était pas possible à tous les animaux de s'étendre en même temps, de sorte qu'ils changeaient constamment de position. Les auteurs ont conclu que la densité maximale devrait être 0,44 m^2/porc (pour des porcs de 100 kg), pour le bien-être des animaux et la qualité de la viande. Les arrêts prolongés en cours de route et les longues attentes au moment du déchargement sont à éviter. Il convient aussi d'éviter le transport pendant la partie la plus chaude de la journée au cours des mois d'été.

On a cherché à résoudre le problème de la surchauffe en aspergeant les porcs dans la zone où ils sont parqués à l'abattoir. L'aspersion avant l'étourdissement abaisse la température du longissimus dorsi 35 min après l'abattage et entraîne une réduction de la fréquence de la viande PSE (Smulders et al., 1983).

En plus du réglage de la température, celui de l'éclairage est important. Il se peut que les porcs voient pour la première fois la lumière vive du soleil au moment du chargement, avant le transport pour la mise en marché. Il est évidemment stressant de passer de la pénombre au grand jour, parfois en passant en même temps de +18° à -20 °C, et cela tend à accroître la probabilité de voir les porcs physiquement malmenés au cours du chargement et du déchargement. Il faut aussi prévoir un éclairage uniforme à l'abattoir, dans la zone où les animaux sont parqués.

3. Acheminement Les mauvais traitements n'ont pas seulement pour effet d'accroître la fréquence des meurtrissures, mais ils contribuent aussi au niveau général de stress chez le porc (Grandin). On évitera notamment de frapper les animaux ou de leur donner des coups de pied. On utilisera un fouet de toile, non gelé, plutôt que des bâtons et des baguettes. L'emploi d'aiguillons électriques est déconseillé. Van der Waal (1970) a conclu après avoir mesuré les niveaux d'épinéphrine que les porcs peuvent être très stressés par l'aiguillon électrique. Lewis et al. (1961) avaient observé que le stress causé par l'application de 18 chocs électriques par heure au cours d'une période de 5 h ou plus entraînait un épuisement des réserves de glycogène du muscle et produisait en définitive de la viande PSE. Les traitements de ce genre mais beaucoup plus courts pourraient produire également de la viande PSE. Le guidage au moyen de planches peut réduire le niveau de stress et, là où c'est possible, il faudrait laisser les porcs avancer à leur rythme.

4. Aménagement des installations Des installations d'acheminement et d'attente mal conçues sont un des principaux facteurs contribuant aux meurtrissures et à des niveaux de stress qui donneront en définitive une viande PSE. Il ne fait aucun doute qu'on améliorera la qualité du porc en éliminant les allées glissantes, les rampes en forte pente, les angles à arête vive, les surfaces en saillie, le bruit, les vibrations etc. tout au long du parcours entre la ferme et l'abattoir. Des études approfondies de la question ont été réalisées par Grandin (1980) et Braathen (1981).

5. Privation d'eau et de nourriture De nombreux rapports de recherche décrivent les effets de la privation d'eau et de nourriture sur la qualité de la viande de porc. Les données de Neilsen (1981), qui sont typiques, sont présentées au tableau 7.2. Lorsque la durée de la privation de nourriture et le temps de repos avant l'abattage sont accrus, le pourcentage de viande PSE diminue et le pourcentage de viande DFD augmente.

Tableau 7.2 Fréquence du porc PSE et DFD en rapport avec l'alimentation et la période d'attente

Alimenté le jour de la livraison	Période d'attente (h)	Nombre de porcs	% de viande PSE	% de viande DFD
Non	0	204	7,8	2,9
	2	206	5,8	17,0
	4	205	2,9	12,2
	24	104	1,9	20,2
Oui	0	175	13,1	3,4
	2	174	7,5	10,3
	4	177	4,0	6,2
	24	81	2,5	7,4

Neilson, 1981

Tableau 7.3 Couleur du muscle (différences en pourcentage par rapport à la couleur de base) chez les porcs, en fonction de différentes durées de transport et de repos avant l'abattage[a]

Durée du transport	Durée du repos (h)	[b]Catégories de couleurs			
		1	2	3	4
Moins d'une heure	0	0	0	0	0
	3	+2,3	-20,8	+21,1	
	6	+1,0	-29,8	+27,8	+1,2
Plus de deux heures	0	-0,4	-19,2	+18,6	
	3	-5,5	-27,3	+32,1	+0,8
	6	-4,7	-31,9	+36,2	

[a]Étude réalisée pendant les mois d'été
[b]Catégories de couleurs 1-4, Normes de qualité du porc d'Agriculture Canada, Fortin, 1986

6. Périodes de transport et périodes de repos D'après certains travaux européens, de courtes périodes de transport sans aucune période de repos à l'abattoir entraîneraient une fréquence accrue de porc PSE. Une étude faite récemment au Québec (Fortin, 1986) a confirmé ces constatations pour les conditions canadiennes. La fréquence des différentes catégories de couleurs de porc pour un transport d'une durée inférieure à une heure et un temps de repos de 0 h a été fixée à 0 (valeur de base), et toutes les autres fréquences ont été indiquées par rapport aux valeurs de base (tableau 7.3). Pendant l'été, les porcs ont été transportés pendant moins d'une heure ou plus de deux heures et abattus à l'arrivée à l'usine de traitement ou après un repos de 3 ou de 6 h. Les valeurs de base pour lesquelles on pouvait s'attendre à la fréquence la plus élevée de porc PSE sont indiquées comme 0 dans le tableau 7.3 et les autres traitements sont mesurés par rapport à ces valeurs; les différences sont exprimées en pourcentages. Un transport de courte durée sans période de repos avant l'abattage a donné une beaucoup plus grande fréquence de la catégorie de couleur 2 (pâle) que le transport de plus de 2 h. On conçoit que le transport de courte durée soit plus stressant qu'un transport plus long, car il s'écoule très peu de temps entre le chargement et le déchargement. De plus, les porcs sont souvent mélangés avant le transport et le regroupement social se poursuit donc sur le camion. Une période de repos plus longue est associée à des catégories de couleur améliorées. Par exemple, un repos de 6 h réduisait d'environ 30 % la fréquence des longes pâles. Il n'y avait pas d'accroissement majeur de la fréquence du porc foncé (catégorie de couleur 4) lorsque la période de repos était accrue. De courtes périodes de repos (3 h ou plus), en particulier après un court transport en camion, semblent donc très utiles pour réduire la fréquence du porc PSE. Ces courtes périodes de repos ne semblent pas avoir une influence majeure sur la perte de poids de la carcasse, mais exigent que l'abattoir investisse dans des installations modernes d'acheminement des animaux et que les livraisons de porcs soient extrêmement bien coordonnées.

7. Interaction de l'environnement avec la sensibilité génétique au stress. Certains porcs, notamment ceux qui donnent un test à l'halotane positif, sont particulièrement sensibles aux facteurs stressants. Il faut donc peu de stress, voire aucun stress, pour déclencher l'état PSE. Le tableau 7.4 donne un exemple de l'effet de la sensibilité au stress (déterminée par les tests à l'halotane) et de la longueur de la privation de nourriture sur la qualité finale de la viande maigre (Murray, 1986).

Tableau 7.4 Effet de la durée de privation de nourriture sur la fréquence de la structure molle, exsudative (SE)[a] dans le longissimus dorsi de porcs de trois lignées

Durée de la privation de nourriture (h)	Lignée de porcs[b]		
	NN	Nn	nn
0	0	60,7	87,0
24	0	53,6	60,9
48	3,2	14,3	47,8

Murray 1986
[a] Classes de structure, Normes de qualité du porc d'Agriculture Canada
[b] Lignées de porcs: NN = Lacombe, Nn = Lacombe x Halotane positif, nn = halotane positif

Pour ce test, les porcs ont été privés de nourriture dans l'étable où ils étaient élevés, sans être mélangés, mais ils pouvaient s'abreuver; l'abattage a eu lieu moins d'une heure après l'arrivée à l'abattoir de Lacombe. Le tableau 7.4 montre que la lignée a un effet majeur sur la qualité du porc. À 0 h de privation de nourriture, la fréquence de la structure molle, exsudative varie de 0 % pour la race Lacombe (probablement non-porteurs du gène de sensibilité à l'halotane) à 87 % pour la lignée nn (tous halotane positifs), tandis que la lignée croisée était intermédiaire. Au bout de 48 h de privation, la lignée **nn** et la lignée croisée montraient des améliorations de qualité considérables, et la réaction de la lignée croisée à cette privation de nourriture dépassait celle de la lignée **nn**. Si cette expérience avait été réalisée dans une usine de traitement commerciale, le stress accru de la mise en marché aurait sans doute entraîné des interactions encore plus évidentes entre la lignée et le temps de privation.

Les conditions environnementales sont un facteur majeur dans l'obtention de porc PSE/DFD. Bien que l'on ait établi certains principes généraux rationnels concernant par exemple l'acheminement, la conception des installations, les périodes de repos avant l'abattage etc., il existe encore peu de recherches canadiennes dans ce domaine. Par exemple, les distances de transport moyennes jusqu'aux usines de traitement et le temps passé en transport au cours du processus de commercialisation n'ont pas été définis. Un effort important est nécessaire pour recueillir cette information, avant de pouvoir établir des relations de cause à effet et réduire les pourcentages de viande de qualité médiocre.

Les résultats des recherches ont abouti à des recommandations concernant la façon de traiter les porcs à la ferme, durant le transport et à l'abattoir. Au Canada, on a publié de l'information rédigée dans un style non technique (Thompson, 1980; Conseil canadien du porc; Conseil canadien des viandes, 1980). L'information la plus approfondie à ce sujet se trouve dans la publication <<Code de pratiques recommandées pour l'entretien et la manutention des porcs>> (Agriculture Canada, 1984b).

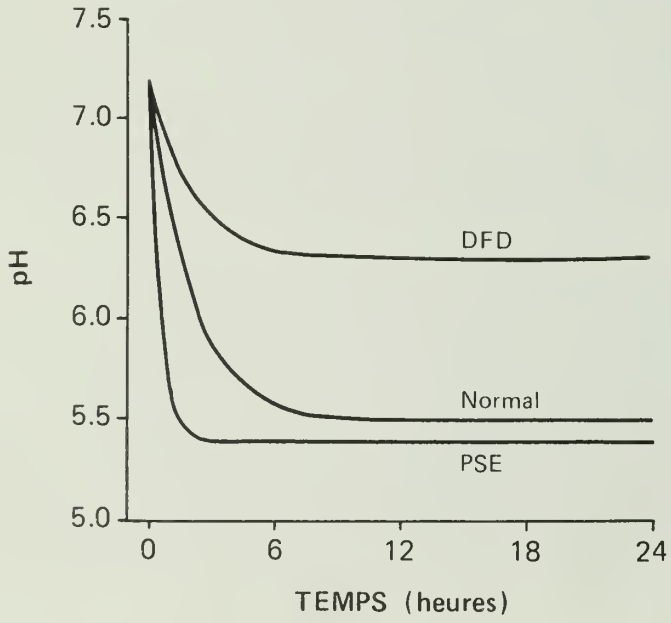
8. INFLUENCES POST-MORTEM SUR LA QUALITÉ DU PORC

A.C. Murray et S.D.M. Jones

Le muscle du porc vivant a un pH proche de 7,2, ce qui signifie qu'il n'est ni acide ni basique. Le sang, en plus d'apporter aux muscles les nutriments nécessaires, élimine les résidus du métabolisme tels que l'acide lactique que produit l'activité musculaire.

Les réactions biochimiques dans le muscle se poursuivent pendant une longue période après l'abattage, en utilisant les réserves d'énergie stockées principalement sous la forme d'un carbohydrate, le glycogène. Le taux de réaction est contrôlé dans une grande mesure par le niveau de calcium libre. Cependant, comme la circulation sanguine s'interrompt à la mort, l'acide lactique s'accumule. La rigidité cadavérique s'installe dans un délai d'environ 6 h après l'abattage. L'accumulation d'acide lactique est prouvée par la chute du pH à 5,5 approximativement dans un délai d'environ 12 h après l'abattage (figure 8.1). C'est là le processus normal de conversion du muscle en viande.

Figure 8.1 Effet du temps écoulé après l'abattage sur le pH de la viande PSE, normale et DFD



A. Porc PSE

Le déroulement des phénomènes ci-dessus est un peu différent dans les muscles destinés à devenir PSE. Ces muscles sont bien pourvus d'énergie

(glycogène) et, apparemment parce que les niveaux de calcium ne peuvent être contrôlés, ils sont très actifs du point de vue biochimique immédiatement après l'abattage, de sorte que l'acide lactique est produit beaucoup plus rapidement que la normale et que le pH peut tomber en dessous de 5,6 dans un délai d'une heure après l'abattage, alors que la carcasse est encore à la température du corps ou proche de cette température (figure 8.1). Cette combinaison d'un pH faible et d'une température chaude entraîne des changements structuraux dans les protéines du muscle, qui réduisent de façon marquée leurs propriétés hydrophiles tout en influant sur la couleur et la texture de la surface de la viande. Il en résulte un porc pâle, mou et exsudatif.

Des muscles tels que le longissimus dorsi (paleron), le biceps femoris (jambon extérieur) et le gluteus medius (face du jambon) sont particulièrement sensibles à la condition PSE.

B. Porc DFD

Pour la baisse du pH, les muscles utilisent de l'énergie qui est nécessaire pour la conversion normale en viande. Les muscles dont la réserve d'énergie (glycogène) s'est épuisée du fait d'un stress de longue durée (ex. longue exposition à un froid extrême avec promiscuité et privation de nourriture) sont incapables de produire beaucoup d'acide lactique et restent donc à un pH élevé (≥ 6) (figure 8.1). Du fait de ce pH, la capacité de rétention d'eau reste élevée et la texture est sombre, gluante ou sèche et beaucoup plus ferme que la normale.

Diverses pratiques intervenant à l'abattage ou immédiatement après peuvent avoir une influence sur le rythme de baisse du pH et donc sur le taux de porc PSE.

C. Étourdissement

Trois méthodes sont couramment utilisées pour l'étourdissement des porcs: choc mécanique, choc électrique et anesthésie au dioxyde de carbone. Ces procédés ont été décrits et comparés en détail (Eikelenboom, 1983). Pour l'étourdissement par choc mécanique, on utilise un pistolet pour heurter la tête au moyen d'une cheville, sous l'effet de l'air comprimé ou d'une cartouche à blanc.

Le choc électrique fait passer un courant électrique à travers le cerveau pour rendre le porc inconscient. Le courant est appliqué à 60-70 volts (faible voltage) pendant un maximum de 20 secondes (de 5 à 7 secondes suffisent normalement - Gregory, 1987) ou à 240-1000 volts (haut voltage) pendant 1 à 5 secondes. Il existe trois façons de placer les électrodes: 1) des deux côtés de la tête, à mi-distance entre les yeux et les oreilles, ou 2) des deux côtés de la tête immédiatement derrière les oreilles, ou encore 3) entre le front et la nuque ou le dos (étourdissement d'avant en arrière).

Pour l'étourdissement au dioxyde de carbone, on expose les porcs à une concentration d'environ 70 % de dioxyde de carbone dans une chambre à gaz. Cette technique paraît plus stressante pour le porc, car il s'écoule une

période de 20 à 30 secondes entre l'exposition au gaz et l'inconscience (Hoenderken, 1983), tandis que les deux autres méthodes d'étourdissement provoquent une inconscience immédiate.

Le choix de la technique d'étourdissement peut avoir une influence majeure sur la qualité de la viande. L'étourdissement par choc mécanique entraîne plus de viande PSE que les deux autres méthodes (Yang et al., 1983). Les données de recherches d'Agriculture Canada indiquent que l'étourdissement par choc mécanique peut causer une proportion quatre fois plus élevée de porc PSE que l'étourdissement électrique (tableau 8.1).

Tableau 8.1 Effet de la méthode d'étourdissement sur la notation PSE du muscle porcin longissimus dorsi

Méthode d'étourdissement	Nombre de porcs	Fréquence avec notation PSE[a]		
		1/2	3	4/5
Électrique	100	11	85	4
Mécanique	100	43	55	2

[a]Notation PSE+ 1/2, Très pâle/structure molle, 3 = normal, 4/5 = sombre/structure ferme.

Les défauts de qualité de la carcasse et de la viande qui peuvent provenir de l'étourdissement sont notamment: fractures des os, hémorragies internes, ecchymoses, saignée insuffisante et viande PSE (Gregory, 1987). Les fractures peuvent affecter la clavicule, le thorax, les vertèbres lombaires et le pelvis. On peut éviter dans une grande mesure les fractures de la clavicule en utilisant un dispositif de retenue ou en limitant la durée d'application du choc à une courte période (2 s en utilisant 320 volts, Brathen et Johansen, 1984). Gregory (1987) a conclu que l'incidence de fractures dépend du voltage utilisé. Les hémorragies internes peuvent être observées sous forme de petits points de sang, dans les muscles de l'épaule, de la longe et du jambon. Aucune méthode d'étourdissement ne peut les éliminer complètement, car on les a aussi observées dans les muscles d'animaux soumis à l'abattage rituel. D'après différents auteurs, l'étourdissement obtenu en faisant passer un fort voltage dans la tête et le dos entraîne moins d'hémorragies que l'étourdissement par un faible voltage, car l'étourdissement de la tête vers le dos entraînerait une plus grande fréquence d'arrêts cardiaques. Il y aura moins d'hémorragies et d'os cassés et la qualité du porc sera meilleure (moins de PSE) si la durée du choc électrique est raccourcie ($\leq$ 2 s) (Hoenderken, 1978; Van der Waal, 1978; Braathen et Johansen, 1984).

Les recherches approfondies de Hoenderken (1978, 1983) ont abouti à la conclusion que, pour un étourdissement électrique efficace:

1. Il faut qu'un courant d'au moins 1,25 ampère soit atteint en 1 seconde. En pratique, cela exige un voltage de plus de 400 volts (de préférence $\geq$ 300 volts).

2. Les électrodes doivent être placés sur la tête pour assurer le passage du courant par le cerveau.

3. Les porcs doivent être piqués le plus rapidement possible et en tout cas pas plus de 30 secondes après l'étourdissement, pour éviter une reprise de conscience.

La controverse en ce qui concerne les mérites respectifs de l'étourdissement par choc électrique et de l'anesthésie au dioxyde de carbone se poursuit. Avant 1980, les données des recherches concordaient pour indiquer que le choc électrique était supérieur au CO_2, à la fois pour des raisons humanitaires et la qualité de la viande (Van der Waal, 1978). À partir de 1983, l'anesthésie au CO_2 n'a plus été autorisée aux Pays-Bas, à cause du stress supplémentaire apparemment infligé pendant la période de 20 à 30 secondes qui s'écoule entre le moment où l'animal est exposé au gaz et l'inconscience (Hoenderken, 1983). Cependant, Mosfeldt Laursen (1983) a conclu que le choc électrique à 300 V au moins et l'anesthésie à 70 % de CO_2 sont des méthodes acceptables l'une et l'autre et que la différence en ce qui a trait à l'aspect humanitaire des deux méthodes est insignifiante, si l'on considère l'état général de stress préexistant. L'étourdissement à faible voltage était considéré comme plus souffrant que les autres méthodes. Une expérience portant sur plusieurs milliers de porcs (tableau 8.2) a montré que l'étourdissement au dioxyde de carbone au moyen d'un <<Compact Stunner>> donnait une plus faible incidence de porc PSE que le choc électrique à 300 V ou 700 V (Larsen, 1983). De plus, la première de ces méthodes entraîne moins d'hémorragies et de fractures. Il faudra poursuivre les essais comparatifs de ces deux techniques au Canada pour arriver à une recommandation relative au choix du CO_2 ou du choc électrique.

Tableau 8.2 Comparaison de l'effet de l'étourdissement par choc électrique et par le dioxyde de carbone sur la qualité du muscle longissimus dorsi

Méthode d'étourdissement	% PSE	% DFD
Électr. 300 V	18,5	5,7
Électr. 700 V	15,1	8,3
Dioxyde de carbone	4,0	6,1

Larsen, 1983

D. Côté de l'accrochage

L'effet que le côté d'accrochage peut avoir sur la qualité de la viande a retenu l'attention. Fisher et Augustini (1981) ont montré que pour le muscle semi-membraneux (intérieur du jambon) le pH mesuré 45 min après l'abattage et plusieurs autres mesures de la qualité de la viande dépendaient du côté, patte droite ou gauche, par lequel le porc était pendu entre l'étourdissement et l'échaudage. La qualité du jambon était moins bonne (plus de PSE) du côté où l'animal était suspendu. Cette observation a été confirmée par Swatland (1986). Jones et Murray (1987) ont toutefois montré que le côté de l'accrochage est sans effet sur la qualité de la viande maigre du longissimus dorsi. Lundstrom et Henningson (1986) ont trouvé que l'accrochage des porcs par les deux pattes n'entraîne pas d'amélioration suffisante de la qualité du muscle de la longe pour être recommandé dans la pratique commerciale. De l'avis général des auteurs, le côté de l'accrochage (généralement le côté gauche) peut produire une incidence supérieure de PSE dans le jambon, mais n'a qu'une influence mineure sur la qualité du muscle de la longe.

E. Échaudage

La pratique qui consiste à échauder les porcs après les avoir étourdis et saignés pour permettre l'épilation échauffe la carcasse et devrait donc aggraver les problèmes de qualité PSE. Une autre possibilité est évidemment d'écorcher les carcasses. L'écorchage permet un refroidissement plus rapide des carcasses et donne donc une meilleure couleur et une qualité supérieure (Voogd, 1983). De plus, on a démontré qu'il est plus économique que l'échaudage lorsqu'il existe un marché pour la peau de porc.

F. Vitesse de refroidissement des carcasses

Des systèmes de refroidissement de la carcasse ont été mis au point avec l'objectif général de réduire la température dans la profondeur du muscle de manière à limiter la prolifération de bactéries d'altération. Les systèmes classiques de refroidissement des carcasses de porc utilisent généralement de l'air à des températures proches de 1 °C et à des vitesses de 0,5 m/s. Très peu de refroidisseurs sont conçus avec une capacité de réfrigération suffisante pour surmonter la charge initiale élevée de chaleur. La température de l'air augmente donc, ce qui nécessite un cycle de refroidissement prolongé. En augmentant la vitesse de refroidissement des carcasses, on réduira la vitesse des réactions biochimiques et le déclin du pH; théoriquement, on améliorera aussi la qualité de la viande dans les carcasses susceptibles de présenter une condition PSE. Le refroidissement en plusieurs étapes a été développé au Danemark et est maintenant admis dans l'industrie canadienne des viandes. Ces systèmes nouveaux diffèrent par leurs spécifications, mais la carcasse de porc est réfrigérée pendant une heure environ à de très basses températures (-20 à -40 °C) à des vitesses variables de l'air (de 1 à 3 m/s), après quoi intervient un refroidissement classique. On n'a effectué au Canada que des recherches limitées concernant les effets du refroidissement en deux phases sur la qualité du muscle du porc. Les résultats à ce jour (tableau 8.3) montrent qu'un cycle de 1 h aboutit effectivement à de meilleures notations subjectives de la qualité du porc, comparativement au refroidissement classique (Jones et al., 1987b).

Tableau 8.3 Effet du refroidissement sur les notations de couleur et de structure de la longe[1]

Traitement de refroidissement	Fréquence des notations				
	1	2	3	4	5
			Couleur du muscle		
Classique	0	11	611	141	10
Courant d'air/ refroidissement	0	13	518	225	17
			Sructure du muscle		
Classique	2	16	599	144	12
Courant d'air/ refroidissement	1	16	545	180	31

[1]Notations couleur/structure 1 à 5, Normes de qualité du porc, Agriculture Canada, Jones et al., 1987b.

Il est à noter cependant que, dans cette étude, on a observé une très faible incidence de porc PSE (notations de couleur et structure 1 et 2) pour les deux traitements de refroidissement. L'effet net du traitement avec courant d'air et refroidissement a été de faire passer les notes subjectives de 3 à 4, produisant donc un porc de couleur plus foncée et de structure plus ferme que le refroidissement classique. Nous ne savons pas si les mêmes résultats généraux seraient applicables avec un taux plus élevé de porc PSE. De plus, un refroidissement rapide du porc dans certaines conditions peut entraîner un durcissement du muscle (Dransfield et Lockyer, 1985) et ce problème pourrait avoir une importance plus grande chez les porcs plus maigres. Il faut encore nettement plus de recherches dans les conditions canadiennes pour déterminer les vitesses optimales de refroidissement des carcasses de porc.

Le refroidissement avec aspersion a été adopté par plusieurs usines de conditionnement du porc au Canada. Bien qu'il y ait eu peu de recherches, il semble qu'un refroidissement avec aspersion pendant une durée pouvant atteindre 8 h peut réduire sensiblement le rétrécissement des carcasses (2,5 à 0,6 %), sans avoir d'effet sur la qualité de la viande (Jones et al., 1987). Le refroidissement avec aspersion présente un léger avantage au niveau du temps de refroidissement des carcasses, en réduisant la température de 2 à 4 °C dans la profondeur du jambon 6 h après le commencement du refroidissement.

G. Stimulation électrique

On a démontré que la stimulation électrique des carcasses de boeuf augmente la tendreté de la viande. Elle accélère aussi la baisse du pH dans le muscle et l'apparition de la rigidité, ce qui nie tout effet de durcissement par le froid qui pourrait être associé à un désossage à chaud et/ou à un refroidissement très rapide. Toutefois, l'application de cette technique aux carcasses de porc a nui dans certains cas à la qualité (Crenwelge et al., 1984). Cela n'est pas surprenant puisque le fait d'accélérer la baisse du pH alors que le muscle est encore près de la température corporelle devrait accroître l'incidence de viande PSE. La stimulation électrique du porc peut cependant offrir certaines possibilités si on l'emploie en liaison avec un refroidissement très rapide.

SOMMAIRE[1]

1. L'industrie canadienne de la viande considère que la fréquence de la viande de porc pâle, molle et exsudative (PSE) est actuellement un important problème commercial, qui influence la position du porc canadien dans la concurrence sur les marchés internationaux.

2. Le muscle PSE donne un égouttement accru de la viande fraîche, avec des pertes de 4 % pour le PSE, contre 2 % pour le porc normal. Comparativement à ceux du porc normal, les rendements après traitement sont inférieurs de 10 % pour l'échine fraîche et de 20 % pour l'échine congelée.

3. Il ressort de recherches limitées que la durée de conservation en boucherie du porc PSE peut dépasser celle du porc normal ou foncé.

4. Bien que les notes de palatabilité attribuées au porc PSE ne soient pas aussi élevées que celles du porc normal, le porc PSE est néanmoins généralement considéré comme acceptable. Cependant, les pertes à la cuisson sont en général nettement plus élevées pour le porc PSE que pour le porc normal ou foncé. Les résultats détaillés d'évaluation de la flaveur et de la texture par des groupes d'experts montrent que le porc PSE a un goût sûr qui abaisse les notes de flaveur, et une texture plus sèche qui le rend moins juteux.

5. On trouve une très forte incidence de viande PSE chez les porcs homozygotes sensibles au stress. La sensibilité au stress est un désordre génétique, probablement transmis héréditairement par un gène récessif. Cependant, après plusieurs années de tests à l'halotane, les porcs homozygotes sensibles au stress ne représentent que 1 à 2 % de la population porcine nationale. Les porcs homozygotes sensibles au stress ne sont donc pas le principal facteur de l'incidence commerciale actuelle de la viande PSE.

6. Les porcs hétérozygotes chez qui on trouve le gène de sensibilité au stress (porteurs) ne peuvent pas être identifiés par les tests à l'halotane; or, la fréquence des porteurs pourrait atteindre jusqu'à 24 % de la population porcine nationale. Les travaux de la station de Lacombe montrent que les porteurs produisent une qualité de viande intermédiaire entre celle des porcs normaux et celle des porcs sensibles au stress. En termes simples, jusqu'à 12 % des porcs abattus pourraient donner de la viande PSE du fait qu'ils sont porteurs du gène de sensibilité au stress.

---

[1] Ce sommaire reprend les principales conclusions de la revue technique et représente la façon de voir des auteurs.

7. Le transport, le moment du dernier repas, la température ambiante, la densité de concentration, et la façon dont les animaux sont traités se sont révélés être les plus importants facteurs environnementaux qui influent sur la fréquence du porc PSE. Ces vingt dernières années, l'industrie canadienne du porc s'est développée, tandis que des abattoirs pouvant traiter couramment jusqu'à 30 000 porcs par semaine étaient construits. Il ne fait guère de doute que l'intensification accrue de l'industrie, avec les débits élevés des abattoirs, soumettent à un stress accru les porcs commercialisés. Une étude, par exemple, a montré que le transport sur courte distance ($\leq$ 1 h), sans repos avant l'abattage, était associé à un taux de viande PSE accru de 20 % par rapport aux porcs qui avaient été mis au repos pendant 3 h avant l'abattage. Dans une autre recherche, les porcs porteurs du gène de sensibilité au stress présentaient seulement une incidence PSE de 14 % au bout de 48 h sans alimentation, mais une incidence de 60 % à 0 h sans alimentation. On n'a qu'une connaissance limitée des conditions de commercialisation dans tout le Canada, mais il est clair que les facteurs environnementaux sont une cause importante de la fréquence actuelle de la viande de porc PSE. Il faudra consacrer des investissements à l'amélioration des conditions de transport et des installations de traitement des animaux dans les parcs de regroupement et les abattoirs, afin de réduire la fréquence de la viande PSE.

9. Les deux plus importants facteurs post-mortem qui influent sur la qualité du muscle sont la méthode d'étourdissement et la vitesse de refroidissement des carcasses. L'étourdissement par choc électrique à haut voltage (> 300 V) a généralement été adopté par l'industrie canadienne. Cependant, des travaux récents utilisant un appareil compact d'étourdissement au CO_2 ont montré une incidence de viande PSE beaucoup plus faible que celle obtenue avec l'étourdissement par choc électrique (4 % contre 16,5 %). Le refroidissement des carcasses dans un courant d'air accélère le refroidissement, par rapport à la méthode classique, et donne du porc un peu plus foncé, à la structure plus ferme. Toutefois, il est douteux que le refroidissement dans un courant d'air puisse, à lui seul, résoudre le problème de la production de viande PSE.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier le Dr. A. Fortin, Centre de recherches zootechniques d'Ottawa, et le Dr. M.A. Price, Université d'Alberta à Edmonton, dont les observations leur ont été précieuses au cours de l'élaboration de ce bulletin. Merci également à Julie Smith et Irene Thauberger qui ont dactylographié ce bulletin.

BIBLIOGRAPHIE

Agriculture Canada. 1984a. Qualité du porc. Guide explicatif de la couleur et de la structure du muscle du porc. Agriculture Canada, Pub. 5180/B.

Agriculture Canada. 1984b. Code de pratiques recommandées pour l'entretien et la manutention des porcs. Pub. 1771/E.

Andresen, E. 1979. Associative additive effects of alleles of the H PHI loci on the quality of meat from Danish Landrace pigs. Acta Agric. Scand. 29:321.

Archibald, A.L. et Imlah P. 1985. The halothane sensitivity locus and its linkage relationships. Anim. Blood Groups and Biochem. Genetics 16:253.

Bagshaw, R.J., Cox, R.H., Knight, D.H. et Detwiler, D.R. 1978. Malignant hyperthermia in a greyhound. J. Am. Vet. Med. Assoc. 172:61.

Barton-Gade, P.A. 1981. The measurement of meat quality in pigs post-mortem. In "Porcine Stress and Meat Quality", Ed. T. Froystein, E. Slinde et N. Standal. Norvège. pp. 205-218.

Barton-Gade, P.A. et Olsen, E.V. 1987. Experience in measuring the meat quality of stress susceptible pigs. In "Evaluation and Control of Meat Quality in Pigs" Éditeurs P.V. Tarrant, G. Eikelenboom et G. Monin. Martinus Nihoff Publishers.

Basrur, P.K., Frombach, S. et McDonell, W.N. 1983. Platelet morphology and membrane bound calcium in porcine stress syndrome. Scanning Electron Mic. 19:209.

Bennett, M.E., Bramblett, V.D., Aberle, E.D., et Harrington, R.B. 1973. Muscle quality, cooking method, and aging vs. palatability of pork loin chops. J. Food Sci. 38:536.

Bowland, J.P. et Standish, J.F. 1966. Influence of fasting, water deprivation and stress on carcass shrink of pigs and rats. J. Anim. Sci. 25:377.

Braathen, O.S. 1981. Ideas about methods and equipment for transport and lairage, stunning and debleeding in order to reduce the incidence of PSE-Meat. In "Porcine Stress and Meat Quality", Ed. - T. Froystein, E. Slinde et N. Standal. pp. 306- 325.

Braathen, O.S. et Johansen, J., 1984. The effect of short and long stunning times upon pork quality. Travaux de la 30ème réunion européenne des chercheurs sur les viandes. Bristol. 9-14 sept. 1984.

Briskey, E.J. 1964. Etiological status and associated studies of pale, soft, exudative porcine musculature. Adv. Food Res. 13:89.

Britt, B.A., Kalow, W. et Endrenyi, L. 1977. Malignant hyperthermia-pattern of inheritance in swine. In "Malignant Hyperthermia" (J.A. Aldrete et B.A. Britt, éditeurs), pp. 195-211. Grune & Stratton, New York.

Buchter, L. et Zèuthen, P. 1971. The effect of aging on the organoleptic qualities of PSE and normal pork loins. Travaux du 2ème Symposium international sur la condition des porcs et la qualité de leur viande, Wageningen, Pays-Bas, pp. 247-254.

Carden, A.E., et Webb, G.J. 1984. The effect of age on halothane susceptibility in pigs. Anim. Prod. 38:469.

Carden, A.E., W.G. Hill et Webb, A.J. 1985. The effects of halothane susceptibility on some economically important traits in pigs. 1. Litter productivity. Animal Production 40:351.

Carlson, J.P., Christian L.L., Kuhlers, W.L. et Rasmusen, B.A. 1980. Influence of the porcine stress syndrome on production and carcass traits. J. Anim. Sci. 50:21.

Cassens, R.G., Marple, D.N. et Eikelenboom, G. 1975. Animal physiology and meat quality. Adv. Food Res. 21:71.

Cheah, K.S. et Cheah, A.M. 1979. Mitochondrial calcium, erythrocyte fragility and porcine malignant hyperthermia. F.E.B.S. Letters 107:265.

Conseil canadien du porc. PSS/PSE/DFD. The Hog Stress - Pork Quality Complex. Publié par le Conseil canadien du porc.

Conseil des viandes du Canada. 1980. Renseignements sur le PSE dans le Porc. Publié par le Conseil des viandes du Canada.

Crenwelge, D.D., Terrell, R.N., Dutson, T.R., Smith, G.C. et Carpenter, Z.L. 1984. Effects of time postmortem of electrical stimulation and postmortem chilling method on pork quality and palatability traits. J. Food Sci. 49:294.

Davidson, W.D., Sample, J.G., Cliplef, R.L., Hanson, L.E., Meade, R.J. et Aunan, W.J. 1968. Effect of antemortem fasting on shrinkage and yields of swine and their carcasses, cuts and products. J. Anim. Sci. 27:355.

Davis, C.E., Townsend, W.E. et McCampbell, H.C. 1978. Early rigor detection in pork carcasses by foreleg position. J. Anim. Sci. 46:376.

De Jong, R.H., Heavner, J.E. et Amory, D.W. 1974. Malignant hyperpyrexia in the cat. Anesthesiology 41:608.

De Wilde, R.O. 1984. Comparison of halothane-sensitive and halothane resistant litter-mates pigs for growth, carcass composition, hormonal status and energy balance. Livest. Prod. Sci. 11:303.

Deethardt, D. et Tuma, H.J. 1971. Effects of frozen storage, cooking method and muscle quality on attributes of pork loins. J. Food Sci. 36:626.

Denborough, M.A. et Lovell R.R.H., 1960. Anaesthetic deaths in a family. Lancet 2:45.

Dransfield, E. et Lockyer, D.K. 1985. Cold-shortening toughness in excised pork M. Longissimus dorsi. Meat Science 13:19.

Eikelenboom, G. et Minkema, E. 1974. Prediction of PSE with a non-lethal test for the halothane-induced porcine MH syndrome. Neth. J. Vet. Sci. 99:421.

Eikelenboom, G., Minkema, D., van Eldik, P. et Sybesma, W. 1977. Inheritance of the malignant hyperthermia syndrome in Dutch Landrace swine. In "Malignant Hyperthermia" (J.A. Aldrete and B.A. Britt, eds.), pp. 141-146. Grune & Stratton, New York.

Eikelenboom, G. 1983. "Stunning of animals for slaughter", Travaux d'un séminaire du programme CCE de coordination des recherches sur le bien-être des animaux. Zeist, Pays-Bas, 13-15 octobre.

Fernandes, T.H., Smith, W.C., Ellis, M., Clark, J.B.K. et Armstrong, D.G. 1979. The administration of sugar solution to pigs immediately prior to slaughter. 2. Effect on carcass yield, liver, liver weight and muscle quality in commercial pigs. Anim. Prod. 29:223.

Fisher, K. et Augustini, Chr. 1981. Halftenunterschiede in der Fleischbeschaffenheit beim Schwein durch einseitiges hangen während des Schlachtprozesses. Fleischwirtschaft 61:1187.

Fortin, A. 1986. Données non publiées.

Fortin, A. et Raymond, D.P. 1987. Objective detection of PSE/DFD pork using electronic grading probes. Int. Cong. Meat Sci. and Tech., Helsinki, Finlande.

Fox, J.D., Wolfram, S.A., Kemp, J.D., et Langlois, B.E. 1980. Physical, chemical, sensory, and microbiological properties and shelf-life of PSE and normal pork chops. J. Food Sci. 45:786.

Grandin, T. Only you can stop bruising. Livestock Handling Committee, Livestock Conservation Institute, St. Paul, Minnesota.

Grandin, T. 1980. Livestock behavior as related to handling facilities design. Int. J. Stud. Anim. Prob. 1:33.

Gregory, N.G. 1987. Effect of stunning on carcass and meat quality. In "Evaluation and Control of Meat Quality in Pigs". Éditeurs P.V. Tarrant, G. Eikelenboom et G. Monin. Martinus Nighoff Publishers.

Hall, L.W., Woolf, N., Bradley, J.W.P. et Jolly, D.W. 1966. Unusual reaction to suxamethonium chloride. Br. Med. J. 2:1305.

Hall, L.W., Trim, C.M. et Woolf, N. 1972. Further studies of porcine malignant hyperthermia. Br. Med. J. 2:145.

Hanset, R., Leroy, P., Michaux, C. et Kintoba, K.N. 1982. The H locus in the Belgian Pietrain pig breed. Z. Tierzucht. Zucht Biol. 100:123.

Harrison, G.G., Biebuyck, J.F., Terblanche, J., Dent, D.M., Hickman, R. et Sounders, J. 1968. Hyperpyrexia during anaesthesia. Br. Med. J. 3:594.

Harrison, G.G. et Verburg, C. 1973. Erythrocyte osmotic fragility in hyperthermia-susceptible swine. Br. J. An aesth. 45:131.

Hart, P.C. 1962. Physio-chemical characteristics of degenerated meat in pigs. Tijdschr. Diergeneesk 87:156.

Hoenderken, R. 1978. Elektrische bedwelming van slachtvarkens. Thèse, Université d'État, Utrecht.

Hoenderken, R. 1983. Electrical and carbon dioxide stunning of pigs for slaughter. In "Stunning of animals for slaughter", Travaux d'un séminaire du programme CCE de coordination des recherches sur le bien-être des animaux. Zeist, Pays-Bas, 13-15 octobre. Ed. G. Eikelenboom.

Honikel, K.D. et Fischer, C. 1977. A rapid method for the detection of PSE and DFD porcine muscles. J. Food Sci. 42:1633.

Huffman, D.L. et Adams, J.R. 1972. Effect of vacuum packaging and temperature on keeping quality of pork. J. Anim. Sci. 34:346 (extrait).

Jensen, P. et Barton-Gade, P. 1985. Performance and carcass characteristics of pigs with known genotypes for halothane susceptibility. EAAP Pub. No. 33.

Jeremiah, L.E. 1982. A review of factors influencing consumption, selection, and acceptability of meat purchases. J. Cons. Stud. Home. Econ. 6:1137.

Jeremiah, L.E. 1984. A note on the influence of inherent muscle quality on cooking losses and palatability attributes of pork loin chops. Can. J. Anim. Sci. 64:773.

Jeremiah, L.E. 1985. Consumer responses to pork loin chops with different degrees of muscle quality. Rapport technique au Comité Gouvernement/Industrie sur le porc PSE/DFD. Ottawa, Ont., 9 mai.

Jeremiah, L.E. 1986. Effects of inherent muscle quality differences upon the palatability and cooking properties of various fresh, cured, and processed pork products. J. Food Qual. 9:279.

Jeremiah, L.E. et Wilson, R. 1986. The effects of muscle quality and frozen storage upon the processing yields of pork cuts. Can. Inst. Food Sci. Technol. J. 20:25.

Jones, S.D.M., Fortin, A. et Atin, M. 1984. A comparison of methods to detect pork quality 24 hours post-mortem from measurements made within one hour slaughter. Can. Inst. Food Sci. Technol. J. 17:143.

Jones, S.D.M., Rompala, R.E. et Haworth, C.R. 1985. Effects of fasting and water restriction on carcass shrink and pork quality. Can. J. Anim. Sci. 65:613.

Jones, S.D.M. et Murray, A.C. 1987. Données non publiées.

Jones, S.D.M., Murray, A.C. et Sather, A.P. 1987a. Body proportions and carcass composition of pigs with known genotypes for stress susceptibility fasted for different periods of time prior to slaughter. Can. J. Anim. Sci. (sous presse).

Jones, S.D.M., Tong, A.K.W. et Murray, A.C. 1987b. Effects of blast-chilling carcass of different weight and fatness on the appearance of fresh pork. Can. J. Anim. Sci. 67:13-19.

Jones, S.D.M., Murray, A.C. et Robertson, W.M. 1987c. The effects of spray-chilling on the shrinkage and quality of pork. Can. Inst. Fd. Sci. and Tech. J. (sous presse).

Judge, M.D., Cahill, V.R., Kunkle, L.E. et Detherage, F.E. 1960. Pork quality. II. Physical, chemical, and organoleptic relationships in fresh pork. J. Anim. Sci. 19:145.

Kauffman, R.G., Carpenter, Z.L., Bray, R.W., et Hoekstra, W.G. 1964. Biochemical properties of pork and their relationship to quality. I. pH of chilled, aged, and cooked muscle tissue. J. Food Sci. 29:65.

Kauffman, R.G., Wachholz, D., Henderson, D. et Lochner, J.V. 1978. Shrinkage of PSE, normal, and DFD hams during transit and processing. J. Anim. Sci. 46:1236.

Kauffman, R.G., Eikelenboom, G., Van der Wal, P.G., Engel, B. et Zaar, M. 1986. A comparison of methods to estimate water- holding capacity in post-rigor porcine muscle. Meat Sci. 18:307-322.

Kemp, J.D., Montgomery, R.E. et Fox, J.D. 1976. Chemical, palatability, and cooking characteristics of normal and low quality pork loins as affected by freezer storage. J. Food Sci. 41:1.

Klein, L.V. 1975. Case report: A hot horse. Vet. Anesth. 2:41.

Korczyn, A.D., Shavit, S. et Shlosberg, I. 1980. Chick as a model for malignant hyperpyrexia. Eur. J. Pharmacol. 61:187.

Kramlich, W.E., Pearson, A.M. et Tauber, F.W. 1975. Processed Meats, AVI Publ. Co., Inc., Westport, Conn.

Krol, B. 1971. Review of papers. Section 4: Fresh and processed pork. Progress and shortcomings in the utilization of PSE meat. Travaux du 2ème Symposium international sur la condition des porcs et la qualité de leur viande, Wageningen, Pays-Bas, pp. 243-246.

Lambooy, E., Garssen, G.J., Walstra, P., Mateman G. et Merkus, G.S.M. 1985. Transport of pigs by car for two days; some aspects of watering and loading density. Livest. Prod. Sci. 13:289.

Lampo, P.H., Navvwynck, W., Bauguet, Y. et VanZevein, A. 1985. Effects of stress susceptibility on some reproductive traits in Belgian Landrace Pigs. Livest. Prod. Sci. 13:279.

Larsen, H.K., 1983. Comparison of 300 volt manual stunning, 700 volt automatic stunning, and CO_2 compact stunning with respect to quality parameters, blood splashing, fractures and meat quality. In "Stunning of animals for slaughter", Travaux d'un séminaire du programme CCE de coordination des recherches sur le bien-être des animaux. Zeist, Pays-Bas, 13-15 octobre Ed. G. Eikelenboom.

Leest, J.A., Van Baal, J.P.W. et Van Male, J.P. 1971. Effect of PSE condition of pork on stability of luncheon meat during sterilization. Travaux du 2ème Symposium international sur la condition des porcs et la qualité de leur viande, Wageningen, Pays-Bas, pp. 287-290.

Lewis, P.K., Heck, M.C. et Brown, C.J. 1961. Effect of stress from electrical stimulation and sugar on the chemical composition of swine carcasses. J. Anim. Sci. 20:727-733.

Lundstrom, K. et Henningsson, S. 1986. Effect on meat quality of shackling pigs by one or two legs. Travaux de la 32ème réunion européenne des chercheurs sur les viandes. Gand, Belgique.

McLoughlin, J.V. 1969. Relationship between muscle biochemistry and properties of fresh and processed meats. Food Manufacture 44: 36.

Merkel, R.A. 1971. Processing and organoleptic properties of normal and PSE porcine muscle. Travaux du 2ème Symposium international sur la condition des porcs et la qualité de leur viande, Wageningen, Pays-Bas, pp. 261-270.

Mitchell, G. et Heffron, J.J.A. 1982. Porcine Stress Syndromes. Adv. Fd. Res. 28:167.

Monin, G. et Sellier. P. 1985. Pork of low technical quality with a normal rate of muscle pH fall in the immediate post- mortem period: the case of the Hampshire breed. Meat Sci. 13:49.

Mosfeldt Laursen, A. 1983. Choosing between CO_2 and electrical stunning of pigs. A preliminary examination of stress and ethics. In "Stunning of animals for slaughter", Travaux d'un séminaire du programme CCE de coordination des recherches sur le bien-être des animaux. Zeist, Pays-Bas, 13-15 octobre Ed. G. Eikelenboom. pp. 64-72.

Murray, A.C. et Nemeth, C.P. 1986. Measurement of pork muscle quality. Can. J. Anim. Sci. 66:1168 (extrait).

Murray, A.C. 1986. Quality and processing attributes of pork. Présenté à la Réunion de planification des travaux sur la qualité du porc, Agriculture Canada, Winnipeg.

Murray, A.C. et Sather, A.P. 1986. Characterization of the meat quality of a halothane-positive line of swine. Can. J. Anim. Sci. 66:1168 (extrait).

Murray, A.C. 1987. Données non publiées.

Murray, A.C., Jones, S.D.M. et Tong, A.K.W. 1987. Données non publiées.

Neilsen, N.J. 1981. The effect of environmental factors on meat quality and on deaths during transportation and lairage before slaughter. In "Porcine Stress and Meat Quality", Travaux du Symposium tenu à Refsnes Gods, Jeloy, Norvège, 17-19 nov., 1980. Éditeurs - T. Froystein, E. Slinde et N. Standal. pp. 287-297.

Newton, R.G. et Gill, C.O. 1980. The microbiology of DFD fresh meats: A review. Meat Sci. 5:223.

Ollivier, L., Sellier, P. et Monin, G. 1975. Déterminisme génétique du syndrome d'hyperthermie maligne chez le porc de piétrain. Ann. Genet. Sel. Anim. 7:159.

Pertz, C. et Sundberg, J.P. 1978. Malignant hyperthermia induced by etorphine and xylazine in a fallow deer. J. Am. Vet. Med. Assoc. 173:1243.

Renou, J.P., Monin, G. et Sellier, P. 1985. Nuclear magnetic resonance measurements on pork of various qualities. Meat Sci. 15:225.

Rey, C.R., Kraft, A.A., Topel, D.G., Parrish Jr., F.C. et Hotchkiss, D.K. 1976. Microbiology of pale, dark and normal pork. J. Food Sci. 41:111.

Sather, A.P., Martin, A.H. et Fredeen, H.T. 1981. Meat quality in pigs selected for lean tissue growth rate. In Porcine Stress and Meat Quality - causes and possible solutions to the problems (T. Fraystein, E. Slinde, N. Standal, eds.) pp. 274-282
As Norvège.

Sather, A.P. et Murray, A.C. 1986. The development of a halothane-positive line of pigs. Can. J. Anim. Sci. 66:1164 (extrait).

Scheper, J. 1971. Research to determine the limits of normal and aberrant meat quality (PSE and DFD) in pork. Travaux du 2ème Symposium international sur la condition des porcs et la qualité de leur viande, Wageningen, Pays-Bas, pp. 271-277.

Schlenker, G., Jugest, L. Mudra, K., Pohle, M. et Heinzi. 1984. Semen quality of boars with differing halothane susceptibility. Monatshefte fur Veterinarmedizin 39:760-763. From Pig News and Information. 1985. 6:260 #1461.

Searcy, D.L., Harrison, D.L. et Anderson, L.L. 1969. Palatability and selected related characteristics of three types of roasted porcine muscle. J. Food Sci. 34:486.

Smith, W.C. et Bampton, P.R. 1977. Inheritance of reaction to halothane anaesthesia in pigs. Genet. Res. 29:287.

Smith, W.C. et Lesser, D. 1982. An economic assessment of pale, soft, exudative musculature in the fresh and cured pig carcasses. Anim. Prod. 34:291.

Smulders, F.J.M., Romme, A.M.C.S., Woolthius, C.H.J., de Kruijf, J.M., Eikelenboom, G. et Corstiaensen, G.P. 1983. Pre- stunning treatment during lairage and pork quality. In "Stunning of animals for Slaughter", Travaux d'un séminaire du programme CCE de coordination des recherches sur le bien-être des animaux. Zeist, Pays-Bas, 13-15 oct. Ed. G. Eikelenboom.

Somers, C., Tarrant, P.V. et Sherington, J. 1985. Evaluation of some objective methods for measuring pork quality. Meat Sci. 15:63.

Southwood, O.I. 1985. Halothane sensitivity of the heterozygote at the halothane locus in British Landrace pigs. Anim. Prod. 40:540. (extrait).

Swatland, H.J. 1982. Intermuscular variation in physical properties of pork. Can. Inst. Food Sci. Technol. J. 15:92.

Swatland, H.J. 1986a. Colour measurements on pork and veal carcasses by fibre optic spectrophotometry. Can. Inst. Fd. Sci. and Tech. J. 19:170-173.

Swatland, H.J. 1986b. Post-mortem spectrophotometry of pork and beef using quartz optical fibers. Meat Sci. 17:97.

Swatland, H.J. 1987. Measurement of post-mortem changes in pork by high speed compression hysteresis. J. Anim. Sci. 64:444.

Sybesma, W. et Eikelenboom, G. 1978. Methods of predicting pale, soft, exudative pork and their application to breeding programs. A review. Meat Sci. 2:79.

Thompson, J.R. 1983. Pale, soft, exudative and dark firm dry pork (PSE and DFD Pork). Alberta Pork Production Handbook. Publié par le ministère de l'Agriculture de l'Alberta, Pork Industry Branch.

Topel, D.G., Miller, J.A., Burger, P.J., Rust, R.E., Parrish, F.C., Jr., et Ono, K. 1976. Palatability and visual acceptance of dark, normal, and pale colored porcine M. longissimus.
J. Food Sci. 41:628.

Van der Waal, P.G. 1978. Chemical and physiological aspects of pig stunning in relation to meat quality - A review. Meat Sci. 2:19.

Vogeli, Gerwig, C. et Schnekeli, H. 1983. The A - O and H blood group systems, some enzyme systems and halothane sensitivity of two divergent lines of Landrace pigs using index selection procedures. Livest. Prod. Sci. 10:159.

Voogd, E.L. 1983. Slaughter factors that affect pork quality. Thèse, University of Illinois, Urbana, Illinois.

Wachholz, L., Kauffman, R.G., Henderson, D. et Lochner, J.V. 1978. Consumer discrimination of pork colour at the market place. J. Food. Sci. 43:1150.

Warriss, P. 1986. Live animal marketing effects on carcass and meat quality. Présenté à la réunion de planification des travaux sur la qualité du porc, Agriculture Canada, Winnipeg.

Warriss, P.D. et Brown, S.N. 1985. The physiological responses to fighting in pigs and the consequences for meat quality. J. Sci. Food Agric. 36:87.

Warriss, P.D. et Down, N.F. 1985. Bacon yield from fasted pigs. Anim. Prod. 40:143.

Webb, A.J. 1980. The incidences of Halothane sensitivity in British Pigs. Anim. Prod. 31:101.

Webb, A.J. 1981. The halothane sensitivity test. In Porcine Stress and Meat Quality, Causes and possible solution to its problems. (T. Groystein, C. Slinde, N. Stundal.) pp. 105-126.

Webb, A.J. et Carden A.E. 1978. The halothane test in genetic improvement programs, experiments with Pietrain/Hampshire pigs. In Acta Agri. Scand. Suppl. 21:418.

Webb, A.J. et Jordan, C.H.C. 1978. Halothane sensitivity as a field test for stress-susceptibility in the pig. Anim. Prod. 26:157.

Webb, G.J., Garden A.C., Smith C. et Imlah, P. 1982. Porcine stress syndrome in pig breeding plans. 2ème Congrès mondial sur la génétique appliquée à la production du bétail. Vol. 5 pp. 588-608. 4-8 oct., 1982, Madrid.

Webb, A.J., Imlah P. et Carden, A.C. 1986. Succinylcholine and Halothane as a field test for the heterozygote at the halothane locus in pigs. Anim. Prod. 42:274.

Williams, C.H., Shanklin, M.D., Hedrick, H.B., Huhrer, M.E., Stubbs, D.H., Krause, G.F., Payne, C.G., Benedict, J.D., Hutcheson, D.P. et Lasley, J.P. 1977. The dominant hyperthermia-stress syndrome: Genetic aspect hemodynamic, and metabolic measurements in susceptible and normal pigs. "Malignant Hyperthermia" (J.A. Aldrete et B.A. Britt, eds.), pp. 113-140.

Willeke, H. 1986. A note on the effect of the halothane-type of sows lifetime probilificacy and litter parity at culling. Livest. Prod. Sci. 14:205.

Yang, T.S., Hawrysh, Z.J., Price, M.A. et Aherne, F.X. 1983. Effect dantrolene sodium on pork quality from pigs stunned by captive-bolt. Can. Anim. Sci. 63:299.

Zuidam, L., Schmidt, G.R. et Sybesma, W. 1971. Effect of fresh pork on consumer acceptance. Travaux du 2ème Symposium international sur la condition des porcs et la qualité de leur viande. Wageningen, Pays-Bas, pp. 282-286.